



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Mecánica

“FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA
INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN
LA COMUNA DE PUCÓN”

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Mecánico

Profesor Patrocinante:
Sr. Milton Lemarie Oyarzún.
Ingeniero Civil Mecánico.
Dr. Ciencias de la Educación.

CLAUDIO ANDRÉS VALDIVIA GONZÁLEZ

VALDIVIA – CHILE

2012

El Profesor Patrocinante y Profesores informantes del trabajo de titulación comunican al Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el trabajo de titulación del señor:

CLAUDIO ANDRÉS VALDIVIA GONZÁLEZ

Ha sido aprobado en el examen de defensa rendido el día.....

Como requisito para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Y, para sí conste para todos los efectos firman:

PROFESOR PATROCINANTE:

Sr. Milton Lemarie O. _____

Ingeniero Civil Mecánico.

Instituto de Diseño y Métodos Industriales.

PROFESORES INFORMANTES:

Sr. Luis Cárdenas G. _____

Ingeniero Mecánico.

Instituto de Diseño y Métodos Industriales.

Sr. Enrique Salinas A. _____

Ingeniero Mecánico.

Instituto de Diseño y Métodos Industriales.

Agradecimientos

A cada uno de los docentes que estuvieron involucrados en mi formación profesional.

A las personas que estuvieron apoyando este proceso desde el primer día y otros(as) que llegaron después, y que gracias a ellos, todo se volvió más simple, algunos siguen. Otros solo nos dejaron de acompañar, pero sigue su recuerdo y cariño en nuestros corazones.

A Leonardo, Alex y Félix por su ayuda en momentos de stress.

A mi Patrocinante, que más que un profesor, se transformo en un amigo.

Gracias por lo innumerables consejos, por el apoyo, la formación, los valores y sentido común de lo que realmente es necesario.

Dedicatoria

Todo comenzó como un proyecto lleno de valores, apoyo y cariño, gracias a mis padres, Sixto, Mireya y Carmen que sin ellos este proceso hubiera sido mas duro. Gracias por el constante cuidado, por los desvelos y enseñanzas que hasta el día de hoy me siguen entregando.

Gracias a mi hermano Nicolás, por su entrega incondicional y su constante alegría que entrega día a día.

Sin ustedes mi mundo seria muy distinto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
SUMMARY	2
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
INTRODUCCIÓN.....	4
CAPÍTULO 1. ENERGÍA SOLAR.....	5
1.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN CHILE Y ROL DE ESTE PROYECTO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO DE ENERGÍA SOLAR.....	7
1.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	8
1.2.1 FUNCIONAMIENTO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	10
1.2.2 SISTEMAS DE GENERACIÓN AISLADOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	12
1.2.3 SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
1.2.4 VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	14
1.2.5 DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
1.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	16
1.3.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	16
1.3.1.1 SILICIO MONOCRISTALINO.....	19
1.3.1.2 SILICIO POLICRISTALINO	19
1.3.1.3 SILICIO AMORFO.....	19
1.3.1.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	20
1.3.1.4.1 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ICC Ó ISC):	23
1.3.1.4.2 VOLTAJE A CIRCUITO ABIERTO (VCA O VOC):.....	23
1.3.1.4.3 CORRIENTE (I) A UN DETERMINADO VOLTAJE (V):	23
1.3.1.4.4 POTENCIA MÁXIMA (P _{MAX}):	24
1.3.1.4.5 EFICIENCIA TOTAL DEL PANEL.	25
1.3.1.4.6 EFECTO DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR.	25

1.3.1.4.7 EFECTO DE LA TEMPERATURA.....	26
1.3.1.5 GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	26
1.3.2 SISTEMA DE ACUMULACIÓN.....	28
1.3.2.1 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (CA).....	29
1.3.2.2 ESTADO DE CARGA.....	29
1.3.2.3 PROFUNDIDAD DE DESCARGA (PDD).....	30
1.3.2.4 CAPACIDAD ÚTIL.....	30
1.3.2.5 RÉGIMEN DE CARGA O DESCARGA.....	30
1.3.2.6 CICLO DE VIDA.....	30
1.3.2.7 AUTO DESCARGA.....	30
1.3.2.8 NÚMERO DE CICLOS.....	30
1.3.3 INVERSOR.....	32
1.3.4 REGULADOR.....	32
CAPÍTULO 2. RECURSO SOLAR.....	34
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	34
2.1.1 RADIACIÓN SOLAR.....	34
2.1.1.1 DIRECTA (IB).....	34
2.1.1.2 DIFUSA (ID).....	35
2.1.1.3 REFLEJADA O ALBEDO (IA).....	35
2.1.2 IRRADIANCIA.....	35
2.1.3 IRRADIACIÓN.....	36
2.1.4 HELIOFANÍA.....	37
2.1.5 UNIDADES UTILIZADAS.....	39
2.2 RECURSO SOLAR EN CHILE.....	39
2.2.1 DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR LOCAL.....	40
2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	41
2.3.1 PIRANÓMETRO.....	42
2.3.2 PIRHELIÓMETRO.....	42
2.3.3 ACTINÓGRAFO.....	42
2.3.4 HELIÓGRAFO.....	43
2.3.5 CELDA FOTOVOLTAICA.....	43

CAPÍTULO 3. UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	45
3.1 SECTOR DE LA COMUNA DE PUCÓN DONDE SE PLANTEA EL PROYECTO.	45
3.2 PLANO DE LA CASA-HABITACIÓN DEL PROYECTO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	46
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA	49
4.1 ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA REQUERIDA.....	49
4.1.1 POTENCIA REQUERIDA.....	49
4.1.2 TIEMPO DE UTILIZACIÓN	50
4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	54
4.2.1 DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN (BATERÍA) 55	
4.2.1.1 MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA	56
4.2.1.2 DÍAS DE AUTONOMÍA	56
4.2.1.3 CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS.....	56
4.2.2 DIMENSIONADO DE LA BATERÍA.....	57
4.2.3 DIMENSIONADO DEL REGULADOR.....	58
4.2.4 DIMENSIONADO DEL INVERSOR.....	61
4.2.5 DIMENSIONADO DEL CABLEADO	61
4.3 DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS	62
4.4 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	64
4.4.1 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO	65
4.4.2 BATERÍAS.....	66
4.4.3 REGULADOR DE CARGA	67
4.4.5 INVERSOR DE CARGA	67
4.4.6 SISTEMA DE CABLEADO Y CONEXIONES	68
4.4.7 SISTEMA HIBRIDO.....	68
4.4.7.1 CONMUTADOR.....	68
4.4.7.2 RELÉ	68
4.4.7.3 COMPARADOR	68
4.5 SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES	69

4.5.1 PUNTOS DE MAYOR TENSIÓN EN LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES.....	69
4.6 RADIER BASE PARA LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES	71
4.7 BODEGA PARA GUARDADO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	71
CAPÍTULO 5. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	72
CAPÍTULO 6. COSTOS DEL PROYECTO SOLAR FOTOVOLTAICO	73
CAPÍTULO 7. SUBSIDIOS DEL ESTADO Y PRIVADOS PARA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.	76
CAPÍTULO 8. EVALUACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE INVERSIÓN COSTO-BENEFICIO.	78
CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA.....	91
WEBGRAFIA.....	91
ANEXO 1. PLANOS ESTRUCTURA SOPORTE PARA PANELES SOLARES.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Efecto Fotovoltaico sobre paneles solares</i>	11
<i>Figura 2: Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.</i>	13
<i>Figura 3: Funcionamiento de una celda fotovoltaica</i>	17
<i>Figura 4: Circuito equivalente de la celda fotovoltaica.</i>	18
<i>Figura 5: Conexión de las celdas fotovoltaicas en un módulo</i>	21
<i>Figura 6: Estructura del módulo fotovoltaico</i>	22
<i>Figura 7: Potencia máxima indicada en las curvas corriente voltaje para un módulo “X”</i>	24
<i>Figura 8: Gráfica de corriente vs. Voltaje</i>	25
<i>Figura 9: Curva I-V por efecto de la radiación solar</i>	26
<i>Figura 10: Curva I-V por efecto de la temperatura</i>	26
<i>Figura 11: Interconexión de 4 paneles en paralelo, voltaje de salida 12V.</i>	27
<i>Figura 12: Interconexión de 4 paneles, 2 grupos en paralelo de los cuales cada grupo está formado por dos paneles en serie, y en la salida un voltaje de 24V.</i>	28
<i>Figura 13: Cableado de baterías de 12 V, en conexión paralelo hacia el inversor</i>	31
<i>Figura 14: Cableado de baterías de 12 V, en conexión serie-paralelo hacia el inversor</i>	31
<i>Figura 15: Tipos de radiación</i>	35
<i>Figura 16; Posición del sol en solsticio de invierno a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 39° (Pucón).</i>	38
<i>Figura 17: Posición del sol en solsticio de verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 39° (Pucón) .</i>	38
<i>Figura 18: Piranómetro Figura 19: Actinógrafo Figura 20: Heliógrafo</i> .	43
<i>Figura 21: Celda fotovoltaica</i>	44
<i>Figura 22: Plano elevación sur</i>	47
<i>Figura 23: Plano elevación Norte</i>	47
<i>Figura 24: Planta arquitectura primer piso</i>	48
<i>Figura 25: Planta arquitectura segundo piso</i>	48
<i>Figura 26: Esquema de producción de energía para llegar a lo solicitado.</i>	53
<i>Figura 27: Catálogo panel solar Referencia: Tienda Puntosolar.</i>	65
<i>Figura 28: Catálogo baterías ciclo profundo (Tienda Heuser)</i>	66
<i>Figura 29: Catálogo Regulador de carga Referencia: Tienda Puntosolar.</i>	67
<i>Figura 30: Catálogo Inversor (Tienda Heuser)</i>	67

<i>Mapa 1: Mapa Irradiación Global Anual, en Plano Horizontal Zona Sur (Regiones VIII – X, Chile) (MJ/m²)</i>	40
<i>Mapa 2: Sector rural donde se plantea el proyecto, a 3.1 km al norte de comuna de Pucón</i>	46
<i>Ilustración 1: Resultado del análisis mediante software Proengineer</i>	70
<i>Ilustración 2: acercamiento a la zona de mayor solicitación mediante software Proengineer</i>	70

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Otras energías renovables no convencionales. Fuente: AIE 2012: 2010</i>	8
<i>Tabla 2: Unidades y conversiones utilizadas en Energía Solar Fotovoltaica</i>	39
<i>Tabla 3: Datos de irradiación global mensual y anual en diferentes inclinaciones y Azimut de la comuna de Pucón.</i>	41
<i>Tabla 4: Consumo de energía diaria y mensual de una casa-habitación, habitada por cuatro personas.</i>	50
<i>Tabla 5: Costos totales del proyecto.</i>	73
<i>Tabla 6: Rentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo, sin instalación de tendido eléctrico para conexión al SIC.</i>	79
<i>Tabla 7: Rentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo, con instalación de tendido eléctrico para conexión al SIC.</i>	82
<i>Cuadro 1: Eficiencia de diferentes celdas fotovoltaicas.</i>	20
<i>Cuadro 2: Instrumentos de medida y detalle de medición.</i>	41

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, corresponde al estudio técnico–económico de la producción de energía solar fotovoltaica en la comuna de Pucón, novena región de la Araucanía. Su principal objetivo es estudiar, si un sistema solar fotovoltaico autónomo es rentable en la zona centro sur de nuestro país.

Inicialmente se plantea que es la energía solar y la situación energética en Chile, para luego explicar como funciona la energía solar fotovoltaica.

Enseguida, se da a conocer el método de trabajo empleado y la ubicación del sector donde se instalará el proyecto de energía solar fotovoltaica autónomo, para una casa-habitación de entre 80m^2 - 100m^2 , para luego analizar la demanda energética de esta vivienda y el estudio del sistema.

Posteriormente, se seleccionan los elementos del sistema solar fotovoltaico, en empresas instaladas comercialmente en Chile, la cotización de los mismos y de otros elementos que se deben considerar.

Se calcula la resistencia de los soportes de los paneles solares y se simula su estado de esfuerzos y deformaciones por medio del software Pro Engineer.

Finalmente, se entrega la evaluación económica, y la rentabilidad en el tiempo del proyecto, y las conclusiones alcanzadas.

SUMMARY

This thesis is a study of the technical and economic production of solar PV in the town of Pucón, Ninth Region of Araucanía. Its main objective is to study whether an autonomous photovoltaic system is profitable in the south central region of our country.

Initially it is proposed that solar energy is the energy situation in Chile, and then explain how solar energy works.

Next, disclosed the working method and location of the area where the project will install solar photovoltaic autonomous room for a home-from-80m² 100m², and then analyze the energy demand of this home and study system.

Subsequently, the items are selected solar photovoltaic system, installed in commercial enterprises in Chile, the price of these and other elements to consider.

Calculate the resistance of the supports of the solar panels and their status is simulated stress and strain through the Pro Engineer software.

Finally, comes the economic evaluation and cost effectiveness of the project in time, and the conclusions reached.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad técnico-económica de la instalación de energía solar, en una casa habitación de entre 80m²-100m². En la comuna de Pucón, a partir de los datos de irradiación solar del lugar.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Análisis de un sistema fotovoltaico y de la energía solar.
- Calculo de los elementos del sistema y de la energía demandada para una casa habitada por 4 personas.
- Calculo de la resistencia de materiales de los soportes de los paneles solares, en el caso de fuertes vientos y nieve que puedan provocar un serio daño del sistema.
- Calculo de costos del sistema solar fotovoltaico.
- Evaluación mediante análisis de inversión costo-beneficio
- Factibilidad técnico-económica de la instalación, de acuerdo a los cálculos técnico y económicos
- Ver aspectos de subsidio.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía en Chile a corto y mediano plazo es una necesidad que involucra a todo un país, ya sea por la creciente minería en Chile¹, por el aumento de energía eléctrica domiciliaria, o simplemente por el mayor consumo eléctrico en sus variados usos en nuestro país. Esto hace la necesidad de aumentar la matriz energética nacional, ya sea por medio de formas de energías renovables convencionales (ERC) o energía renovables no convencionales (ERNC), o como sistema autónomo sin conexión a la matriz energética del país.

Este trabajo se basa y enfoca en la generación de energía eléctrica como sistema de energía renovable no convencional (ERNC), para suplir la necesidad de una casa-habitación de entre 80m²-100m², separada del sistema interconectado central (SIC) y como un sistema autónomo. Todo esto en la comuna de Pucón, por tener datos de irradiación² y por ser una comuna con un alto atractivo turístico y con un crecimiento sostenible, lo cual hace a Pucón una comuna atractiva para proyectos que vayan de la mano con el medio ambiente.

Cabe señalar, que el proyecto de energía solar fotovoltaica se registrará por medio de las normas NCh2896.Of2004³ (Parámetros característicos de sistemas fotovoltaicos autónomos) y NCh2898.Of2004⁴ (Especificaciones generales para sistemas fotovoltaicos domésticos de 12v corriente continua, requisitos) de energía fotovoltaica.

¹ Dirección Chilena del Cobre. Demanda de energía eléctrica en la minería del cobre y perspectivas de seguridad en su abastecimiento. Santiago: 2010.

² Hernan Romero Et Al. Irradiancia solar en territorios de la republica de Chile: Santiago. 2008.

³ Comisión nacional de energía. Normas energías renovables Energía Fotovoltaica. Pag 45. Santiago. 2008.

⁴ Comisión nacional de energía. Normas energías renovables Energía Fotovoltaica. Pag 63. Santiago. 2008.

CAPÍTULO 1. ENERGÍA SOLAR

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, renovable, que calienta e ilumina, siendo esta la más importante que existe. Es la más atractiva de las fuentes energéticas alternativas del futuro, por ser limpia, gratuita, abundante e inagotable a escala humana. La radiación solar que llega a la Tierra ha permitido la existencia de la vida sobre la misma, e incluso gran parte de las fuentes de energía que hoy conocemos se derivan indirectamente de ella, como los combustibles fósiles que son acumulaciones de energía solar realizadas mediante fotosíntesis en la materia vegetal, o la energía hidráulica, que existe gracias a la evaporación del agua mediante energía solar, etc.

Es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión, a su vez llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la tierra está a una distancia promedio del Sol, que se llama constante solar, y su valor medio es $1,37 \times 10^6$ erg/s/cm², o unas 2 cal/min/cm².⁵ Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que varía un 0,2% en periodos de 30 años. Ya que la intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera⁶.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. Pero la mayor recolección natural de energía solar se produce en la

⁵ Alejandro Feisntein. Objetivo Universo, Pag 435. Buenos Aires: Colihue, 2005.

⁶ Et-al Alejandro Feisntein. Objetivo Universo, Pag 435. Buenos Aires: Colihue, 2005

atmósfera, en los océanos y en las plantas de la Tierra. Las interacciones de la energía del Sol, los océanos y la atmósfera, por ejemplo, producen vientos, utilizados durante siglos para hacer girar los molinos. Los sistemas modernos de energía eólica utilizan hélices fuertes, ligeras, resistentes a la intemperie y con diseño aerodinámico que, cuando se unen a generadores, producen electricidad para usos locales y especializados o para alimentar la red eléctrica de una región o comunidad.

Casi el 30% de la energía solar que alcanza el borde exterior de la atmósfera se consume en el ciclo del agua, que produce lluvia, y la energía potencial de las corrientes de montaña y de los ríos. La energía que generan estas aguas en movimiento al pasar por las turbinas modernas se llama energía hidroeléctrica. Gracias al proceso de fotosíntesis, la energía solar contribuye al crecimiento de la vida vegetal (biomasa) que, junto con la madera y los combustibles fósiles que desde el punto de vista geológico, derivan de plantas antiguas, y pueden ser utilizadas como combustibles.

Otros combustibles como el alcohol y el metano también pueden extraerse de la biomasa. Asimismo, los océanos representan un tipo natural de recogida de energía solar. Como resultado de su absorción por los océanos y por las corrientes oceánicas, se producen gradientes de temperatura. Cuando hay grandes masas a distintas temperaturas, los principios termodinámicos predicen que se puede crear un ciclo generador de energía que extrae energía de la masa con mayor temperatura y transferir una cantidad a la masa con menor temperatura. La diferencia entre estas energías se manifiesta como energía mecánica (ejemplo, para mover una turbina), que puede conectarse a un generador, para producir electricidad. Estos sistemas, llamados sistemas de conversión de energía térmica oceánica (CETO), requieren enormes intercambiadores de energía y otros aparatos en el océano para producir potencias del orden de megavatios.

Las oportunidades de usar energía solar son cada vez mejores y más económicas porque muchos países actualmente reconocen la prioridad de las energías renovables y ha puesto en marcha programas de apoyo y desarrollado en esta tecnología.

1.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN CHILE Y ROL DE ESTE PROYECTO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO DE ENERGÍA SOLAR.

Nuestro país al corto plazo, se verá afectado por una crisis energética debido al alto consumo que demandará los futuros proyectos de desarrollo de la gran minería en Chile, las nuevas plantas de procesos que se están arraigando a ellas y por el incremento de su población, entre otros. Para resolver esta problemática, existen dos soluciones, aumentar la matriz energética en su totalidad, ya sea, con energía hidráulica, gas, carbón, energía renovables no convencionales (ERNC), o con pequeños sistemas de ERNC que estén separadas de la matriz energética global del país.

El notable incremento proyectado de la producción cuprífera chilena en el decenio que comienza, significará un proporcional aumento en la demanda de energía eléctrica. Se estima que hacia el año 2020, ella demandará del orden de 27.120 GWh, lo que significa un alza de un 52,5% en comparación con el consumo del año 2008, que alcanzó a los 17.790 GWh, equivalente a una tasa anual de crecimiento de 3,6 % en el período.⁷ Lo que significa en grandes rasgos “Aumentar la matriz energética”.

El rol de este proyecto es ver una real factibilidad de energía solar fotovoltaica en la zona centro sur del país, donde la irradiación es menor en los meses de otoño-invierno, y considerablemente mayor en los meses de Primavera-Verano.

También pretende funcionar de forma aislada al sistema interconectado central para disminuir de pequeña manera la necesidad de la matriz energética en forma de consumo domiciliario y así tener una producción y abastecimiento propio con una energía limpia, renovable y no convencional. Además de presentar esta alternativa para sectores rurales donde no llegue energía eléctrica y donde los costos de hacerlo posible sean altos, ahí es donde entra la alternativa de un sistema solar fotovoltaico aislado de la matriz energética como el que se presentara en esta tesis, también calcularemos este proyecto como sistema híbrido, para tener referencias.

⁷ Dirección Chilena del Cobre. Demanda de energía eléctrica en la minería del cobre y perspectivas de seguridad en su abastecimiento. Santiago: 2010.

En Chile la situación de energías renovables al año 2010, se presenta en la tabla 1, a continuación.

Tabla 1: Otras energías renovables no convencionales. Fuente: AIE 2012: 2010

Fuente/País	Chile		Nueva Zelanda		Dinamarca		Irlanda		Portugal		Suecia	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Biomasa	884	1,6%	555	1,3%	2.053	5,6%	161	0,5%	1.572	3,4%	9.068	6,0%
Residuos	0	0%	0	0%	1.866	5,1%	0	0,0%	571	1,2%	2.157	1,4%
Geotermia	0	0%	4.200	9,6%	0	0,0%	0	0,0%	192	0,4%	0	0,0%
Solar PV	0	0%	0	0%	3	0%	0	0%	38	0,1%	4	0%
Solar térmico	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Eólico	31	0,1%	1.057	2,4%	6.928	19,0%	2.410	8,1%	5.757	12,5%	1.996	1,3%
Mar	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Otros	0	0%	50	0,1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,0%
Total	56.307	100%	43.775	100%	36.391	100%	29.685	100%	45.969	100%	150.036	100%
ERNC	915	1,6%	5.812	13,3%	10.850	29,8%	2.571	8,7%	8.130	17,7%	13.225	8,8%

1.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar eléctrica, o fotovoltaica es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento. Aunque la energía solar fotovoltaica sólo representa el 0,001%⁸ del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo y un 0% de energía solar en nuestro país, conectado a la matriz energética, pero se prevé un rápido y significativo crecimiento de su implantación.

El sector fotovoltaico se sustenta en una tecnología de vanguardia y una industria de punta que en los últimos años está teniendo un crecimiento anual medio superior al 30%. A corto y mediano plazo, se estima que habrá una reducción importante de costos debido a una mejora de la eficiencia de las tecnologías actuales, a la optimización de los procesos de fabricación, a la aplicación de economías de escala y al desarrollo de nuevas tecnologías. Aunque tradicionalmente el uso de la energía solar fotovoltaica ha sido en

⁸ Greenpeace. Energía solar revolución energética. Bogotá: 2011

aplicaciones aisladas de la red eléctrica, desde hace algunos años la incorporación de esta tecnología al entorno urbano está facilitando su difusión y desarrollo. Es necesario tener en cuenta que la generación eléctrica fotovoltaica es la única que puede producir, a partir de una fuente renovable, electricidad allí donde se consume, reduciendo la saturación de las redes y disminuyendo las pérdidas en la transmisión de la electricidad.

La energía fotovoltaica integrada en edificios y casas permite aprovechar los espacios de edificios urbanos para producir energía limpia y colocar esa electricidad en las redes de distribución local. En tales edificios y casas el consumo de electricidad tiene su origen tanto en la energía provista por la red como por los paneles. En aquellos casos en que el consumo es menor que la generación fotovoltaica, se derivan los excedentes hacia la red eléctrica, en este sentido, en Chile todavía no se aprueba la ley de cogeneración eléctrica domiciliaria⁹. De este modo los consumidores podrán tener un medidor bidireccional en sus hogares de manera de medir sus consumos desde la red y la energía que ellos entregan a la misma.

La integración fotovoltaica en edificios permite combinar un desarrollo urbanístico moderno con un criterio de desarrollo energético limpio. Esto es lo que ya ocurre en diversos países, como Japón, Alemania, Estados Unidos y España. El desarrollo fotovoltaico genera empleos y ya es una industria sólida que está teniendo un crecimiento inmenso desde los años noventa en adelante en lugares como Estados Unidos, Europa y Japón. A nivel mundial el desarrollo fotovoltaico ha sido muy importante en los últimos años. La aplicación de energía fotovoltaica en edificios es el rubro que más crece en la actualidad.

⁹ El 27 de Julio de 2010 fue aprobada en la cámara baja por unanimidad una moción para regular la generación eléctrica a nivel residencial. El objetivo de este proyecto es fomentar la generación eléctrica en los hogares, de modo que sea posible comprar tan solo la electricidad que no es posible generar a nivel doméstico y, por otro lado, vender al sistema la energía que se genere en exceso. Este proyecto de ley todavía no está aprobado por la cámara alta.

1.2.1 FUNCIONAMIENTO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Es posible obtener energía eléctrica directamente de la luz del sol. Por medio de paneles fotovoltaicos. Esta transformación se debe al denominado efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, producto de la interacción entre la radiación solar y el material semiconductor de las celdas solares o fotovoltaicas. Este efecto genera cargas eléctricas en movimiento que son conducidas a través de terminales de metal lo que produce una corriente eléctrica continua. Esta corriente producida puede ser utilizada para cargar baterías o ser convertida a corriente alterna mediante un dispositivo denominado inversor. Las baterías sirven para acumular esa energía generada y utilizarla conectándolas a las cargas (iluminación, TV, refrigerador, etc.).

El elemento más importante del panel fotovoltaico es la celda fotovoltaica o celda solar. Un conjunto de estas celdas, conectadas en serie o paralelo, en una misma unidad o módulo solar, constituyen un panel fotovoltaico. Una celda fotovoltaica consiste en una muy delgada capa de material semiconductor (generalmente silicio). Este es "dopado" con impurezas (otros elementos) en sus dos caras. Como resultado de esto una de sus caras adquiere una carga negativa (un exceso de electrones) y la otra adquiere una carga positiva (deficiencia de electrones). Cuando los rayos del sol caen sobre el material los electrones son forzados a moverse desde una cara hacia la otra. Esto produce un voltaje eléctrico y por lo tanto, una corriente continua en los terminales de la celda solar.

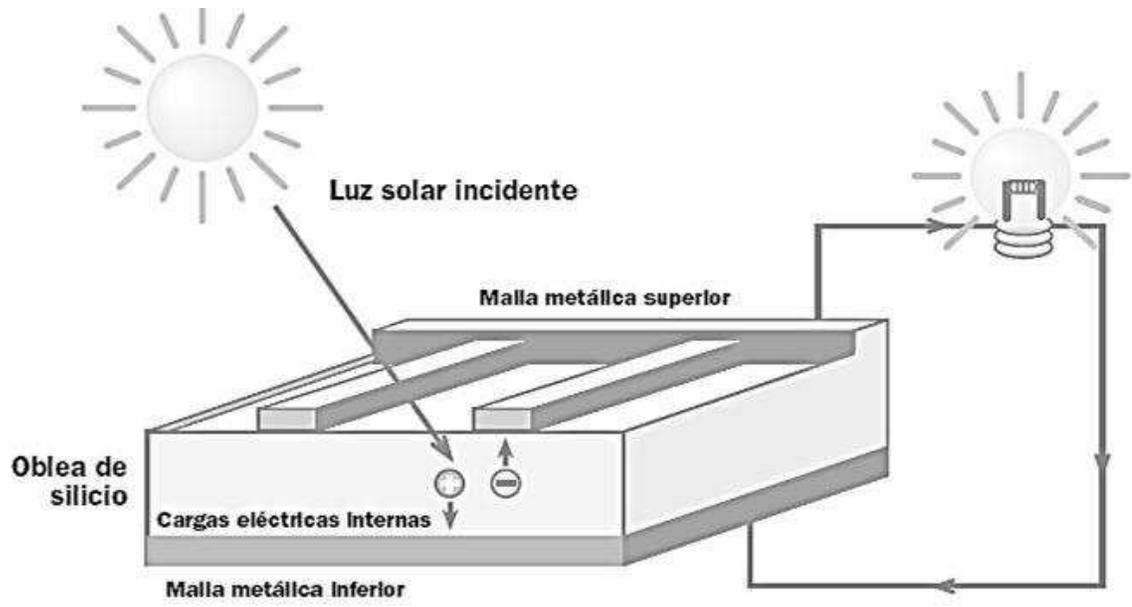


Figura 1: Efecto Fotovoltaico sobre paneles solares

Los sistemas fotovoltaicos, basándose en las propiedades de los materiales semiconductores, transforman la energía que irradia el sol en energía eléctrica, sin mediación de reacciones químicas, ciclos termodinámicos, o procesos mecánicos que requieran partes móviles. El proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica se produce en un elemento semiconductor que se denomina célula fotovoltaica.

Cuando la luz del sol incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido. La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo (figura 1).

1.2.2 SISTEMAS DE GENERACIÓN AISLADOS DE ENERGÍA SOLAR FOTVOLTAICA

Los sistemas fotovoltaicos autónomos están considerados como una tecnología madura y una opción de gran utilidad práctica para dotar de acceso a electricidad a cientos de millones de familias que viven en las zonas más pobres del denominado tercer mundo.

El uso de sistemas fotovoltaicos para este tipo de aplicaciones aisladas a la red permite aprovechar la disponibilidad de una fuente de energía libre y gratuita en el mismo lugar de consumo, la flexibilidad y modularidad de las instalaciones y la amplia autonomía que estos sistemas proporcionan.

Una instalación fotovoltaica doméstica común consta de los siguientes elementos: módulo fotovoltaico y estructura soporte, batería, regulador de carga y aplicaciones de consumo (luminarias más toma corrientes para electrodomésticos), además del cableado y los dispositivos de protección. La corriente que entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan onduladores que convierten la corriente continua en alterna (inversores de carga).

Los sistemas fotovoltaicos aislados (sin conexión a la red) requieren de baterías, generalmente de tipo plomo-ácido o de gel, para almacenar la energía para uso posterior. En la actualidad existen nuevas baterías de alta calidad diseñadas especialmente para las aplicaciones solares (de gel y ciclo profundo), con tiempos de vida útil de más de 15 años. No obstante, el tiempo de vida de una batería depende en gran medida de la forma de utilización y del comportamiento del usuario.

La batería está conectada al Sistema fotovoltaico mediante un controlador de carga. El controlador de carga protege la batería contra las sobrecargas o descargas, y también puede proporcionar información sobre el estado del sistema o permitir la medición de la carga y la electricidad utilizada.

Si se necesita una salida de corriente alterna (CA), será preciso instalar un inversor que convierta la alimentación de corriente continua (CC) a corriente alterna.

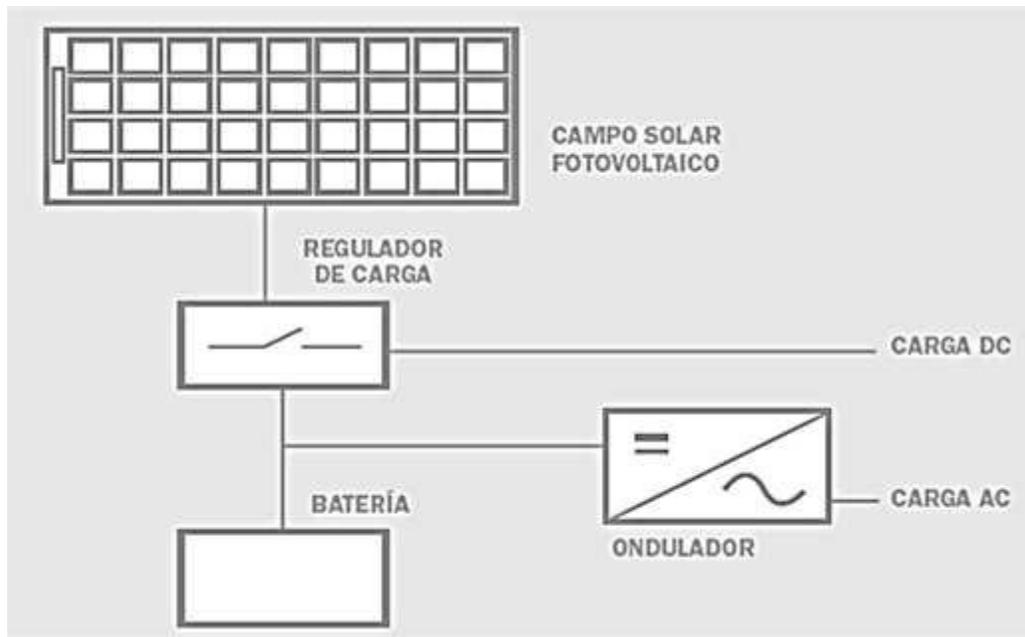


Figura 2: Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.

Las aplicaciones típicas de los sistemas no conectados a la Red son los repetidores de telefonía móvil, los sistemas de electrificación de zonas distantes o rurales.

En la electrificación rural se incluyen tanto pequeños sistemas solares domésticos capaces de cubrir las necesidades básicas de electricidad de una vivienda, como pequeñas redes de mayor extensión que proporcionan energía a varias viviendas.

1.2.3 SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Un sistema solar se puede combinar con otras fuentes de energía, ya sea con un generador de biomasa, un aerogenerador o un generador diesel (Sistema Híbrido) para garantizar un suministro de electricidad permanente. Los sistemas híbridos pueden ser conectados a la Red, independientes o con apoyo de la Red.

1.2.4 VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

A continuación, se presentan una serie de ventajas del uso de la energía solar fotovoltaica, siendo estas las siguientes:

- La energía solar fotovoltaica es altamente confiable ya que el sol es una fuente limpia, inagotable y de acceso libre. La cantidad que recibe la tierra en 30 minutos es equivalente a toda la energía eléctrica consumida por todo el planeta en un año.

- Es una tecnología madura y aceptada internacionalmente. Una instalación fotovoltaica se caracteriza por su simplicidad, silencio, larga duración, poco mantenimiento, una elevada fiabilidad, y no producir daños al medio ambiente.

- A diferencia de los combustibles fósiles y la energía nuclear, la energía fotovoltaica no contamina. No obstante, ninguna fuente de energía es absolutamente inocua.

- En el caso de la fotovoltaica, aunque su uso no origina ningún impacto, la fabricación de las celdas requiere de un elevado consumo energético y el uso de elementos tóxicos, por lo que los fabricantes deben reducir el consumo de estos compuestos, reciclarlos y evitar el vertido de sus residuos.

- Posee bajos costos de operación y mantenimiento.

- Es la mejor opción en fuentes de energía renovable para introducir en el ámbito urbano.

- No posee partes móviles.

- Permite un diseño modular. Es aplicable en los más diversos sitios y para diferentes usos.

- Fácil de producir a escala masiva y de instalar.

- Se trata de una tecnología renovable de generación de electricidad fácilmente instalable y cuya producción puede distribuirse directamente en los puntos de consumo de nuestros pueblos y ciudades, donde se consume la mayoría de la electricidad del país.

De esta forma, cualquier edificio puede convertirse en una pequeña central generadora de electricidad.

- Con muchos techos y fachadas solares podemos tener un sistema de generación descentralizado como complemento a la actual generación “centralizada”, minimizando las pérdidas de energía por transmisión.

- La generación descentralizada de energía tiene además otros efectos beneficiosos. El más importante es el que acerca al ciudadano al uso racional de la energía, despertando hábitos de consumo más respetuosos con el medio ambiente. El usuario de energía solar se convierte en productor/consumidor de su propia energía, lo que ayuda a tomar conciencia energética.

- La característica más importante de los sistemas solares fotovoltaicos es que no producen emisiones de dióxido de carbono.

- Es una tecnología que permite generar empleos y un desarrollo industrial sustentable.

- Es el modo más accesible de proveer de energía a los 2.000 millones de personas sin electricidad en el mundo.

1.2.5 DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

También presenta algunas desventajas, que se indican a continuación:

- Si tenemos que nombrar desventajas de estos sistema no encontramos demasiadas, lo que podemos señalar es que el costo de compra es elevado debido a que este sistema de energía fotovoltaica no se encuentra masificado.

- Posee ciertas limitaciones con respecto al consumo ya que en períodos donde no hay sol no puede utilizarse más energía de la acumulada.

- Uno de los mayores problemas para la gente que está pendiente de la estética de su casa es la imagen que estos paneles dan; no son necesariamente agradables a la vista debido a sus grandes dimensiones.
- Falta de eficiencia por parte de los paneles solares, aunque ahora ya están trabajando en laboratorio paneles con una eficiencia del orden de 24%.¹⁰

1.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

1.3.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Éstas son las encargadas de convertir la energía del sol en electricidad. Este proceso no requiere de ninguna fuente o combustible excepto la luz. Las celdas fotovoltaicas están formadas por materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión de capas denominadas P y N, una barrera de potencial que hace posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de cada celda depende del proceso de fabricación, que varía de unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm² o más y su forma es circular, cuadrada o derivada de estas dos geometrías. Para su fabricación se utiliza materiales semiconductores que pueden ser el germanio (Ge), el silicio (Si), arseniuro de galio (GaAs), telurio de cadmio (TeCd) y otras aleaciones de diferentes elementos, siendo el silicio el más utilizado por existir en mayor cantidad en el planeta.

Al incidir la luz sobre la celda fotovoltaica, los fotones que la integran chocan con los electrones de la estructura del silicio, dándoles energía y transformándolos en conductores. Debido al campo eléctrico generado en la unión P-N, los electrones son orientados, fluyendo de la capa "P" a la capa "N".

¹⁰ De acuerdo a un comunicado de Tom Werner, presidente de SolarPower, las nuevas celdas solares Maxeon ofrecen una eficiencia del 24%, lo que coloca a SunPower como líder de la industria tanto en tecnología como innovación y ofrece a sus clientes la mas alta eficacia en paneles solares con un rendimiento garantizado: Fuente: www.earthtechling.com/2012/04/sunpowers-record-breaking-cell-in-production/

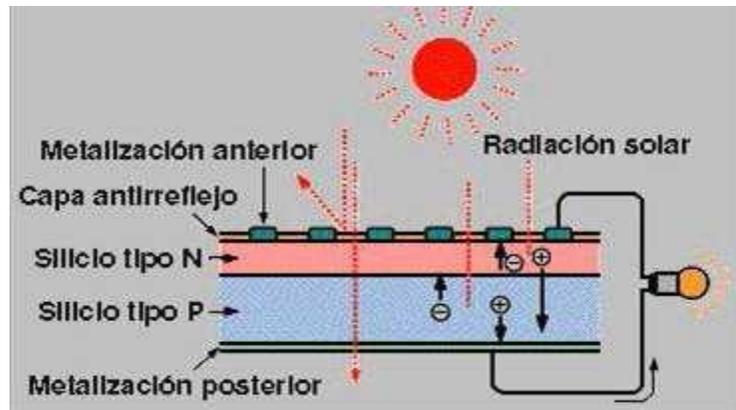


Figura 3: Funcionamiento de una celda fotovoltaica

Para que una célula solar expuesta al sol produzca energía eléctrica debe reunir las tres siguientes características esenciales:

- Ser capaz de absorber una fracción importante de la radiación solar para que la generación de pares electrón-hueco sea eficiente.
- Tener un campo eléctrico interno que separe las dos cargas impidiendo su posterior recombinación.
- Que las cargas separadas deben ser capaces de viajar a través de la capa hasta los electrodos superficiales desde donde pasan al circuito exterior.

Aunque en la práctica las células solares de mayor utilización son las de Silicio mono cristalino, desde 1954 hasta ahora se han ensayado y desarrollado una gran variedad de nuevos tipos, modelos y conceptos de células solares. Éstas se pueden fabricar de diferentes geometrías según las necesidades.

Debido a que una célula solar genera corrientes y tensiones pequeñas, éstas no son los elementos que se utilizan en las aplicaciones prácticas, sino que, con objeto de lograr potencias mayores, se acoplan en serie o en paralelo para obtener mayores tensiones y corrientes formando lo que se denomina módulo fotovoltaico, que es el elemento que se comercializa. A la vez, estos módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que nos den la potencia deseada. Módulos en

serie aumentan el voltaje y conservan la misma corriente, mientras que módulos en paralelo aumentan la corriente, conservando el mismo voltaje.

Los módulos generalmente se fabrican para tener una salida de 12 V (corriente continua). La celda fotovoltaica real puede ser representada por el circuito equivalente de la Figura

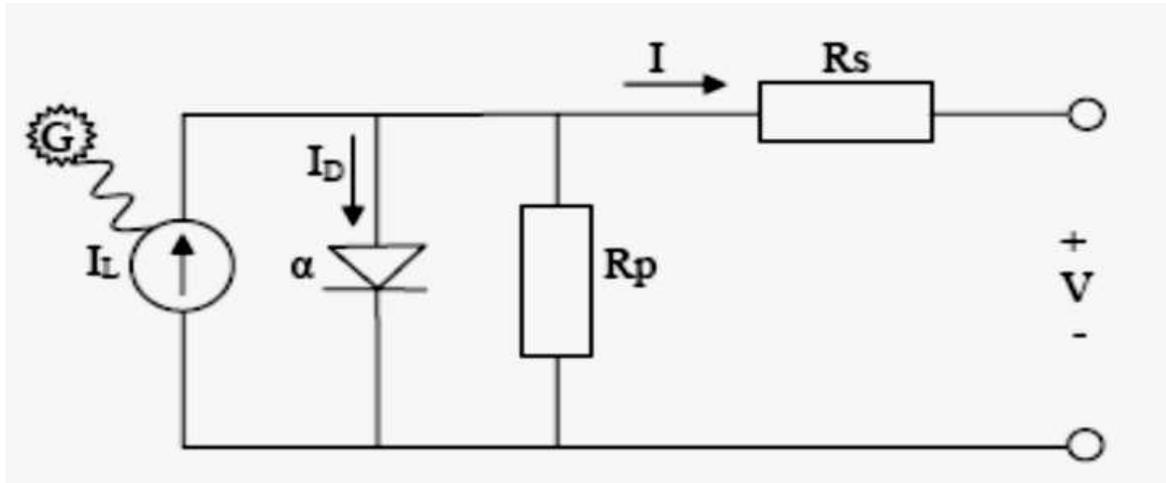


Figura 4: Circuito equivalente de la celda fotovoltaica.

La ecuación del circuito se reduce a:

$$I = I_L - I_D - \frac{V + (I \times R_S)}{R_P} \quad [1]$$

Dónde:

R_S = Resistencia en serie y representa las pérdidas de los contactos superior e inferior, entre la celda y los terminales de corriente. Esta resistencia debe ser lo menor posible. (Ω)

R_P = Resistencia en paralelo y representa los defectos estructurales al interior de la celda que producen pérdidas. Esta resistencia debe ser lo más grande posible. (Ω)

I_L = Corriente generada por los fotones en la celda solar en Amperios [A] (foto corriente).

I_D = Corriente del diodo que depende de las características y calidad de la celda y de la radiación solar. (I)

V = Voltaje externo de la celda solar. (V)

El silicio utilizado actualmente, en la fabricación de las células que componen los módulos fotovoltaicos, se presenta en tres formas diferentes que se enuncian a continuación:

1.3.1.1 SILICIO MONOCRISTALINO

El silicio que compone las células de los módulos es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. El proceso de cristalización es costoso, pero, sin embargo, es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica.

1.3.1.2 SILICIO POLICRISTALINO

No está formado por un solo cristal. El proceso de cristalización no es tan cuidadoso y la red cristalina no es la misma en todo el material. Este proceso es más barato que el anterior pero se obtienen rendimientos ligeramente inferiores.

1.3.1.3 SILICIO AMORFO

No hay red cristalina y se obtiene un rendimiento inferior a los de composición cristalina. Sin embargo, posee la ventaja, además de su bajo costo, de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para captar la luz solar.

En el cuadro siguiente, se pueden observar los rendimientos actuales de las diferentes tecnologías de módulos solares fotovoltaicos en fase de comercialización.

Cuadro 1: Eficiencia de diferentes celdas fotovoltaicas¹¹.

Tipo de material	Eficiencia		
	Máximo Teórico	Laboratorio	En Módulos
Silicio Monocristalino	27%	24.70%	16%
Silicio Policristalino	27%	19.80%	14%
Arseniuro de Galio	29%	25.70%	20%
Silicio Amorfo	25%	13%	8%
Teluro de Cadmio	28.50%	16%	8%
Película de Silicio	27%	16%	11%

1.3.1.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Una celda sólo entrega valores de voltaje de 0,5 V en promedio, y para poder generar energía más útil se requiere de sistemas de mayor capacidad que entreguen valores de voltaje y corriente más elevados, que son necesarios para su uso en remplazo de los sistemas de generación convencionales.

Con este objetivo se requiere hacer módulos o paneles fotovoltaicos con los valores de voltaje requeridos. Para incrementar la corriente se debe conectar varias series en paralelo para llegar a los valores de corriente requeridos.

Los paneles deben tener rigidez en su estructura, aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes climáticos. Por lo cual, una vez conectadas los grupos de celdas, son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacelato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior. (Ver figura 6).

¹¹ Tomas Peralta Benito. Guía del instalador de energías renovables. Madrid. 2006.

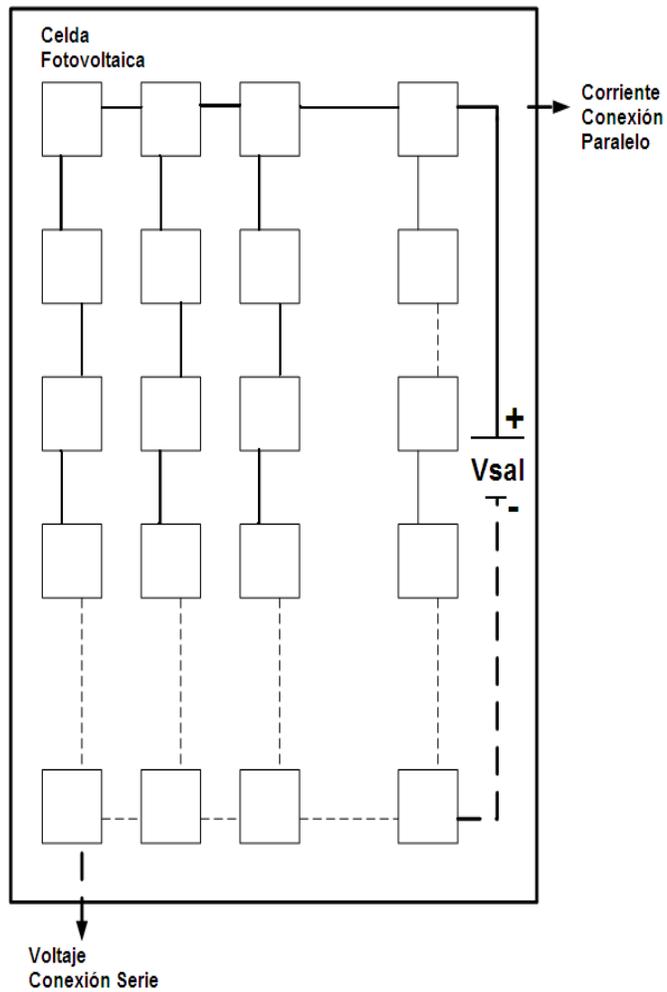


Figura 5: Conexión de las celdas fotovoltaicas en un módulo

En algunos casos el vidrio es remplazado por una lámina de material plástico transparente. El módulo tiene un marco que se compone de aluminio o de poliuretano y cajas de conexiones a las cuales llegan los terminales positivo y negativo del grupo de celdas conectadas en serie y paralelo.

En períodos de oscuridad, la batería se descargaría sobre el panel solar calentando las celdas como que fuera una resistencia eléctrica. Para evitar que esto suceda, se coloca el diodo de bloqueo, que es un elemento que solo permite el paso de corriente en un sentido, del panel a la batería.

Los diodos de bloqueo se instalan dentro del propio panel solar, por lo que cuando se adquiere uno, no hay que preocuparse por la posible descarga de la batería, debido a que cada panel lleva incorporado su diodo de bloqueo.

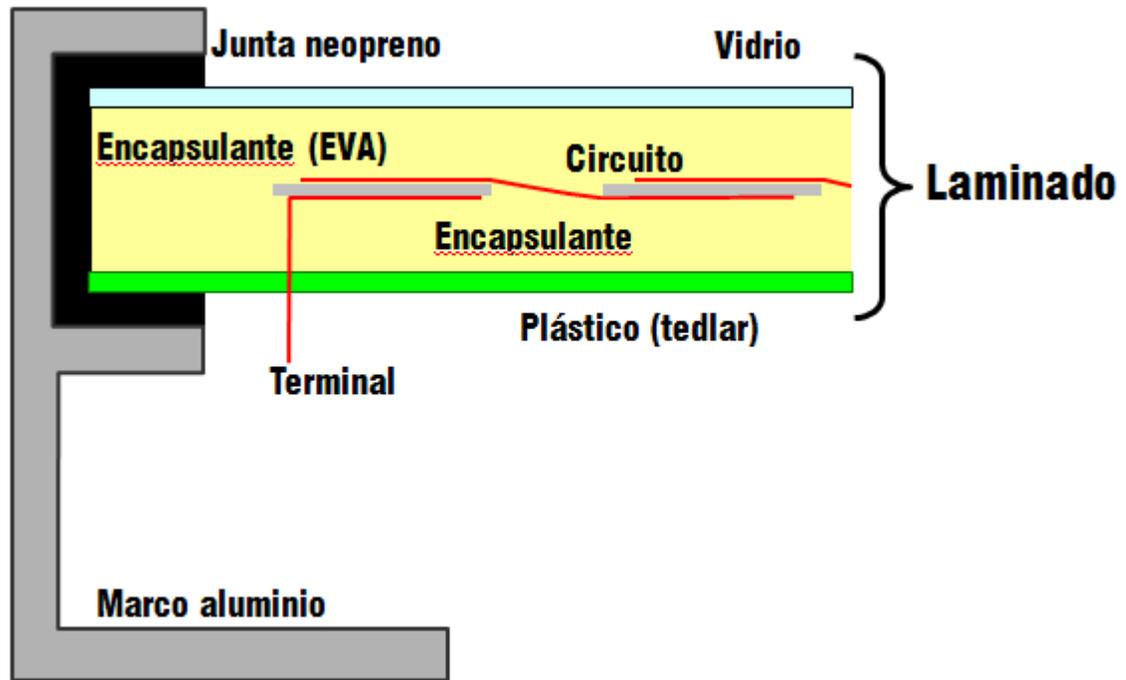


Figura 6: Estructura del módulo fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos que usan celdas monocristalinas son los más utilizados (60% del mercado). Los que usan células policristalinas tienen un 35% del mercado. El resto corresponde a los paneles que usan material amorfo, los que, a pesar de su bajo costo, no alcanzan a competir con los dos tipos previamente mencionados.

Un módulo fotovoltaico puede generar energía en días nublados, aunque su rendimiento baja con respecto a un día soleado. En efecto, la elevación del lugar donde se instala no tiene ninguna relación con la eficiencia del sistema, es decir que la altura a la que van a ser instalados las células fotovoltaicas no va a influir en el rendimiento. Los paneles se instalan a cierta altura para salvar sombras y tener así un contacto directo con

el sol. Cuando se escoge un lugar para los módulos, se debe asegurar que tiene la luz directa a las superficies de los módulos. La luz filtrada como por ejemplo a través del follaje de los árboles va a disminuir mucho el rendimiento del módulo. La instalación de los módulos se hace con preferencia en una zona fuera del camino principal, como en el techo o una pared expuesta al sol.

La respuesta de un panel frente a la radiación solar vendrá determinada por las celdas que lo forman, pudiendo ser descrita mediante varios parámetros. Los cuales se definen a continuación:

1.3.1.4.1 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ICC Ó ISC)

Es la intensidad máxima de corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones (generalmente normalizadas). Correspondería a la medida, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula), de la corriente entre bornes del panel, sin ninguna otra resistencia adicional, esto es, provocando un cortocircuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.

1.3.1.4.2 VOLTAJE A CIRCUITO ABIERTO (VCA O VOC)

Es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinita).

1.3.1.4.3 CORRIENTE (I) A UN DETERMINADO VOLTAJE (V)

Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica I , que fluye a través del circuito externo, que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R , que define la característica eléctrica del circuito (curva intensidad-voltaje),

cuya intersección con la propia curva del panel fija el voltaje de operación del mismo y, en consecuencia, la intensidad que este entrega al circuito.

1.3.1.4.4 POTENCIA MÁXIMA (P_{MAX})

Bajo condiciones determinadas, la intensidad I tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e I_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre 0 y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto del voltaje y la intensidad, ésta será máxima únicamente para un cierto par de valores (I , V), en principio, desconocidos. Se dice que un panel trabaja en condiciones de potencia máxima, cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de I_{max} y V_{max} tales que, su producto sea máximo. Normalmente un panel no trabaja en estas condiciones, ya que la resistencia exterior está fijada por las características propias del circuito.

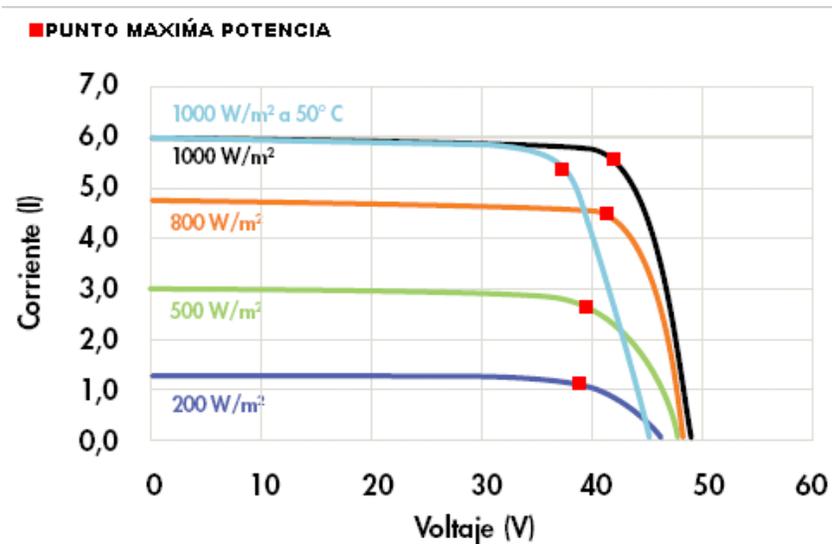


Figura 7: Potencia máxima indicada en las curvas corriente voltaje para un módulo "X"

1.3.1.4.5 EFICIENCIA TOTAL DEL PANEL

Es el cociente entre la potencia producida por el panel y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo. Los conceptos anteriormente definidos resultan más claros si se observa la Figura 9.

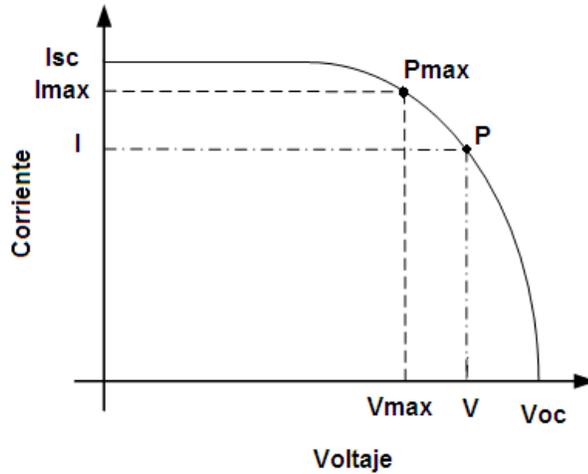


Figura 8: Gráfica de corriente vs. Voltaje

1.3.1.4.6 EFECTO DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR

El resultado de un cambio en la intensidad de radiación es una variación en la corriente de salida para cualquier valor de tensión. La corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional, en tanto que la tensión se mantiene prácticamente constante, como se muestra en la Figura 10.

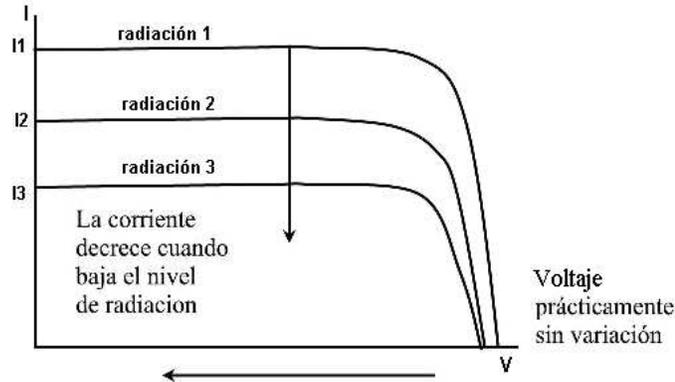


Figura 9: Curva I-V por efecto de la radiación solar

1.3.1.4.7 EFECTO DE LA TEMPERATURA

El principal efecto provocado por el aumento de la temperatura del módulo es una reducción del voltaje en forma directamente proporcional. Además, existe un efecto secundario que se manifiesta por un pequeño incremento de la corriente para valores bajos de voltaje. Es por ello que, para lugares con temperaturas ambientes muy altas, son aptos módulos que poseen mayor cantidad de celdas en serie, para que los mismos tengan la suficiente tensión de salida para cargar baterías.

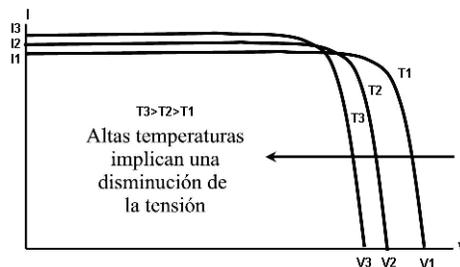


Figura 10: Curva I-V por efecto de la temperatura

1.3.1.5 GENERADOR FOTOVOLTAICO

Es una de las partes fundamentales del panel solar, ya que es la encargada de captar y transformar la energía solar en energía eléctrica. Se compone de la conexión de

uno o varios módulos; es decir, un arreglo de módulos, conectados en serie y/o paralelo, dependiendo de los requerimientos de carga, corriente y voltaje deseados, las formas de conexión se pueden ver en las Figuras 12 y 13.

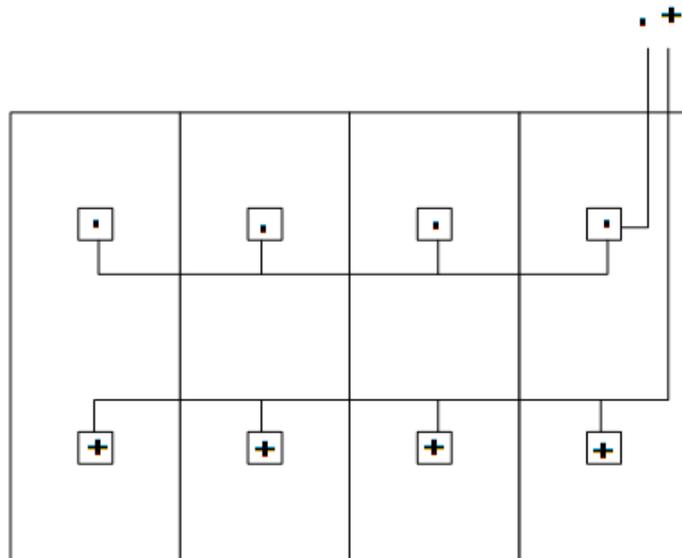


Figura 11: Interconexión de 4 paneles en paralelo, voltaje de salida 12V.

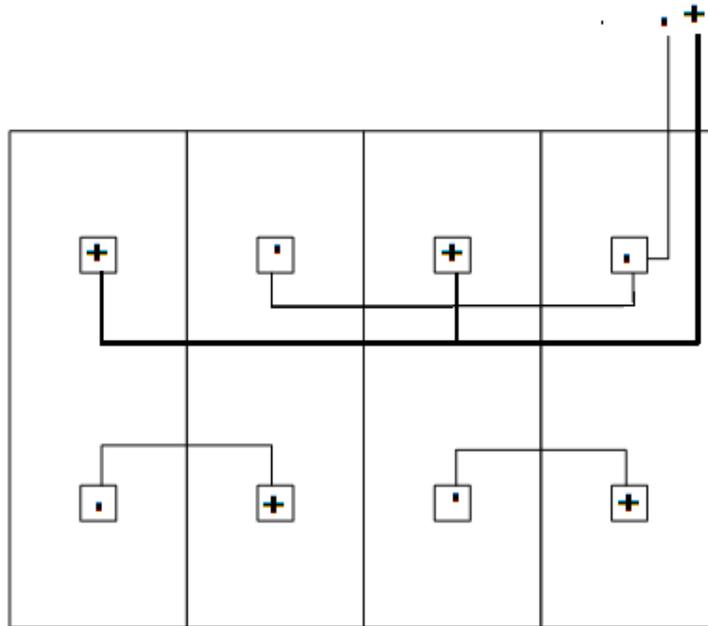


Figura 12: Interconexión de 4 paneles, 2 grupos en paralelo de los cuales cada grupo está formado por dos paneles en serie, y en la salida un voltaje de 24V.

Lo más frecuente es adquirir paneles del voltaje deseado y combinarlos en paralelo de forma que la intensidad total sea la necesaria, para satisfacer el consumo eléctrico calculado.

1.3.2 SISTEMA DE ACUMULACIÓN

La naturaleza variable de la radiación solar hace que los sistemas fotovoltaicos aislados incorporen elementos de almacenamiento de energía que permitan disponer de ésta, en los periodos en los que no hay radiación solar.

El abanico de posibles acumuladores de energía es grande, pero las actuales disponibilidades del mercado hacen que en los sistemas fotovoltaicos se utilice la

acumulación electroquímica, es decir, la batería recargable. Las más utilizadas por precio y prestaciones son las de plomo ácido y las de níquel cadmio¹².

Dado que los requisitos exigibles a una batería de un sistema fotovoltaico son: la resistencia al número de ciclos de carga y descarga. Como cualquier otro sistema de energías renovables, los sistemas de energía solar utilizan baterías de ácido de ciclo profundo para el sistema de acumulación. Este tipo de baterías son distintas a las convencionales de vehículos motorizados, ya que están diseñadas para ser más tolerantes con distintos tipos de cargas de salida y con la descarga que se espera cuando llega a estar nublado. Este tipo de baterías solares duran más, aunque también son más costosas que las convencionales.

La mayor diferencia es que estas tienen placas sólidas de plomo; en las baterías convencionales las placas son de un material esponjoso.

Las variables que se consideran en los acumuladores o batería, se definen en los puntos siguientes.

1.3.2.1 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (CA)

Es la máxima carga eléctrica que puede almacenar la batería, producto de la intensidad de corriente por el tiempo en horas (Ah). La capacidad de almacenamiento de energía de una batería depende de la velocidad de descarga.

1.3.2.2 ESTADO DE CARGA

Es la relación entre la carga almacenada en una batería y su capacidad de almacenamiento.

¹² Según cotización entregada por empresa Puntosolar.

1.3.2.3 PROFUNDIDAD DE DESCARGA (Pd)

Es la relación entre la carga extraída de una batería y su capacidad de almacenamiento. La profundidad de descarga máxima corresponde al límite de descarga que puede alcanzar la batería.

1.3.2.4 CAPACIDAD ÚTIL

Se refiere a la carga total que podría extraerse de la batería. Es igual al producto entre la capacidad de almacenamiento y la profundidad de descarga máxima.

1.3.2.5 RÉGIMEN DE CARGA O DESCARGA

Es la relación entre la capacidad de almacenamiento y el valor de la corriente.

1.3.2.6 CICLO DE VIDA

Es el número de veces que la batería se descarga y carga a fondo durante su vida útil.

1.3.2.7 AUTO DESCARGA

Proceso mediante el cual la capacidad de almacenamiento de energía disponible de una batería se reduce a causa de reacciones químicas parásitas internas y de la resistencia interna de la misma. Este proceso se acelera al variar la temperatura ambiental.

1.3.2.8 NÚMERO DE CICLOS

Se considera que una batería ha completado todos los ciclos de carga y descarga (ciclo de vida) cuando, al ser cargada nuevamente, la máxima energía que puede almacenar se reduce al 80% de su valor inicial. El número de ciclos de carga/descarga

depende de la profundidad de descarga. Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta. Para una profundidad de descarga dada, la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos, entonces se ve que el número de ciclos va a depender del tipo de batería que se vaya a usar, en algunas baterías se puede tener de 2000 a 4000 ciclos.

Las baterías pueden clasificarse de acuerdo a la capacidad de almacenamiento; por ejemplo, una batería de 200Ah de capacidad, que se descarga a 5A tendrá una descarga de 40h (C40), las baterías para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos se recomienda C10 hasta C100. La conexión de las baterías se las puede realizar en serie o paralelo, de acuerdo a los requerimientos de carga. A continuación, se verán algunos ejemplos de conexión de las mismas en las Figuras 13 y 14.

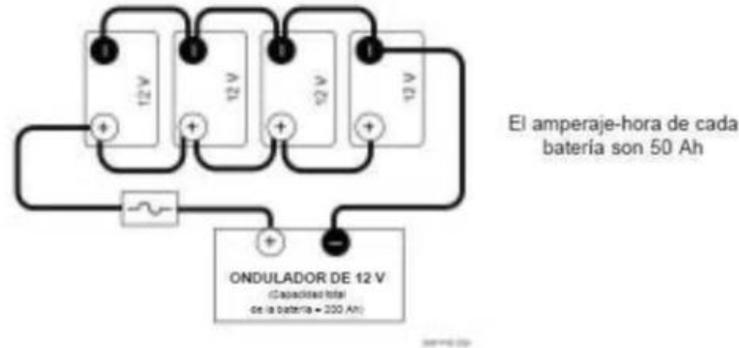


Figura 13: Cableado de baterías de 12 V, en conexión paralelo hacia el inversor

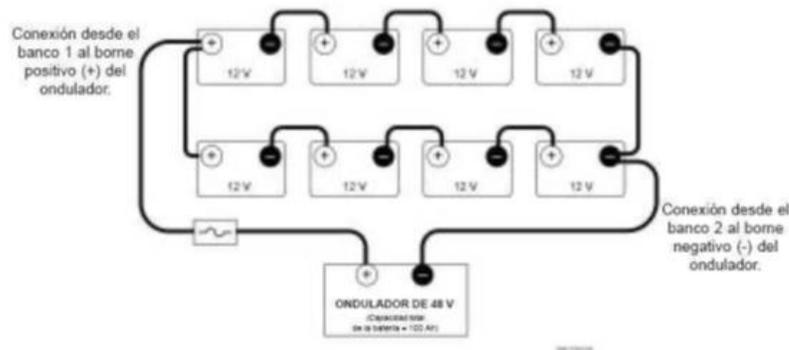


Figura 14: Cableado de baterías de 12 V, en conexión serie-paralelo hacia el inversor

1.3.3 INVERSOR

El inversor, o también llamado ondular de carga, tiene como función principal la de convertir o transformar una corriente continua, procedente de baterías o de la célula fotovoltaica, en una corriente alterna. El inversor fabricará una salida de corriente, normalmente a 120V o 220V (aunque también los hay a 380V), con una frecuencia de 50Hz o 60Hz. Esta forma de onda de salida podrá ser sinusoidal pura, sinusoidal modificada o cuadrada. Los onduladores sinusoidales sirven para alimentar todo tipo de cargas, mientras que otros onduladores con otra forma de onda tienen ciertas limitaciones dado su efecto en cargas inductivas o capacitivas, también se debe destacar los ruidos o interferencias, que pueden causar un mal funcionamiento con equipos de telecomunicaciones y otros electrodomésticos. La ventaja que ofrecen estos onduladores es más bien económica ya que pueden ser la mitad de baratos que los onduladores sinusoidales ofreciendo una potencia similar. Los inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule lo más cercano posible a una onda sinusoidal.

1.3.4 REGULADOR

Su función es regular la carga y la descarga de las baterías. Existen diversas tecnologías comercializadas para aplicaciones fotovoltaicas. Si nos referimos a la forma de conmutación con la batería, encontramos dos tipos de sistemas de regulación: en paralelo, donde el exceso de tensión se controla derivando la corriente a un circuito que disipa la energía sobrante, y en serie, que incorpora interruptores, electromecánicos o electrónicos, que desconectan el generador cuando la tensión excede de un determinado nivel de referencia. Es el dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

Los reguladores actuales introducen micro controladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico. Su programación elaborada permite un control capaz de

adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para ello, consideran los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y la capacidad del acumulador.

CAPÍTULO 2. RECURSO SOLAR

La radiación solar aporta una cantidad enorme de energía a la Tierra. El importe total de la energía, que se irradia desde el sol a la superficie de la tierra equivale a aproximadamente 10 000 veces el consumo anual mundial de energía. En promedio, 1700 kWh por metro cuadrado llega al planeta todos los años.¹³

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación, en términos genéricos, es la propagación de la energía por el espacio de forma análoga a la luz. La radiación solar que nos llega, aportando luz y calor, establece ciclos naturales, tales como el ciclo del carbono y del agua, dando indirectamente lugar al resto de formas de energía natural, es decir, toda la actividad atmosférica tiene como fuente energética al Sol.

La atmósfera refleja, absorbe y transmite la radiación solar que le llega. Además, la combinación de tres factores: distancia Tierra – Sol, diámetro solar y la temperatura del Sol determinan, como ya hemos visto, el flujo de energía que incide sobre la atmósfera.

La radiación emitida por el Sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la tierra, dan por resultado que, sobre la atmósfera terrestre, incida una cantidad de radiación solar casi constante.

Términos fundamentales son la Irradiancia y la irradiación, que nos cuantifican la cantidad de energía que podemos aprovechar, en forma de ondas electromagnéticas,

¹³ Wikipedia. Radiación Solar. 2011

procedentes del Sol. La radiación solar que llega a la superficie de la tierra no suele superar los 1000 W/m^2 , debido a la absorción y reflexión de la atmósfera y a la inclinación de los rayos solares, aunque en zonas desérticas puede alcanzar valores de 1500 a 1800 W/m^2 .¹⁴ En la comuna de Pucón se puede alcanzar $682,5 \text{ W/m}^2$.¹⁵

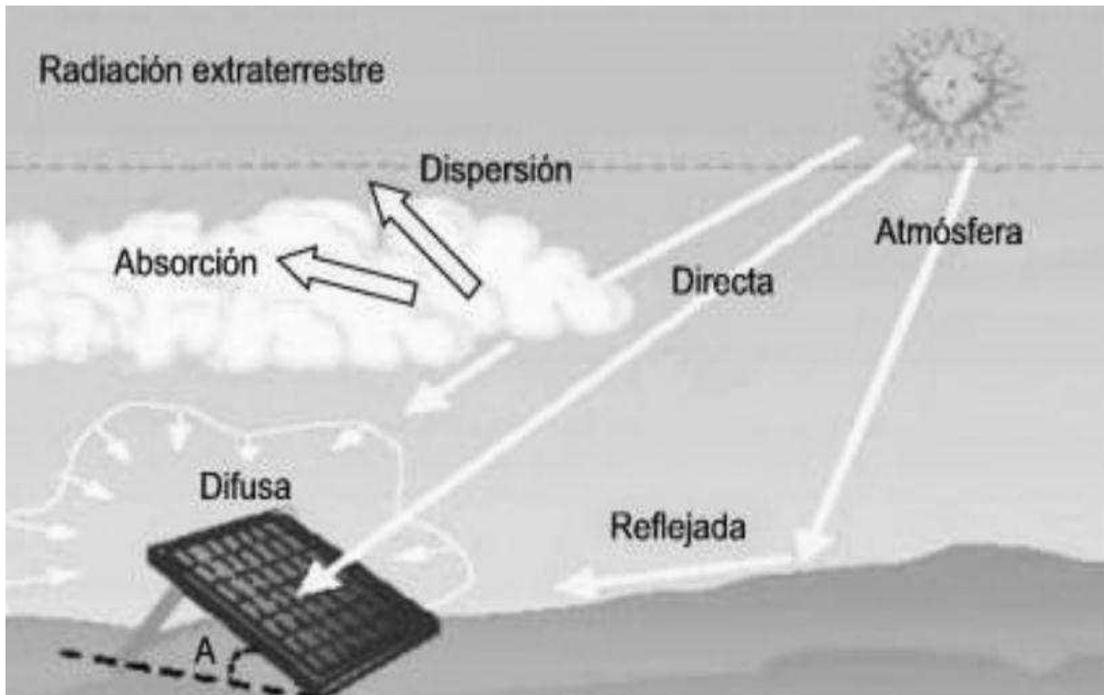


Figura 15: Tipos de radiación

Existen varios tipos de radiación solar, la clasificación más general incluye tres diferentes tipos, que se indican a continuación.

2.1.1.1 DIRECTA (Ib)

Es toda aquella radiación que llega en línea recta desde el sol. Se caracteriza porque se forman sombras fuertes y bien delimitadas. Un día claro con sombra fuerte

¹⁴ Hernan Romero Et Al. Irradiancia solar en territorios de la republica de Chile: Santiago. 2008.

¹⁵ Hernan Romero Et Al. Irradiancia solar en territorios de la republica de Chile: Pag 189: Santiago. 2008.

tiene radiación directa de valor entre 80 y 85%; un día con sombras difusas tiene radiación directa de 80% o menos; y en días de sombra inapreciable, la radiación directa se puede considerar nula.

2.1.1.2 DIFUSA (ID)

Es toda aquella radiación que no procede directamente del sol, porque ha sufrido refracciones en nubes, polvo, entre otros o reflexiones en objetos distantes. No produce sombra y parece provenir de todo el cielo. En días claros, se puede considerar que un 20% de la radiación solar total es difusa, y que en días sin sombras, la radiación solar es totalmente difusa (100%).

2.1.1.3 REFLEJADA O ALBEDO (Ia)

Es toda aquella radiación que llega reflejada por superficies de cuerpos sólidos cercanos como edificios, rótulos, entre otros o por superficie terrestre como nieve, asfalto, lagos, etc.

La radiación total es la suma de las radiaciones directa, difusa y albedo que se reciben sobre una superficie.

2.1.2 IRRADIANCIA

Es la potencia o energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se mide en KW/m^2 .

2.1.3 IRRADIACIÓN

Se le conoce también como Insolación. Es la energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado y a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Se mide en KWh/m^2 .

2.1.4 HELIOFANÍA

Se entiende por Heliofanía (insolación), el número de horas en que el sol se hace presente en un lugar determinado. En toda la llanura litoral hasta una altura de 300 m en Chile, el promedio anual de horas de brillo solar fluctúa entre las 1750 y 2000 horas, siendo las más favorables de este número las zonas más secas. En la región de la Araucanía, la insolación fluctúa entre las 4 y 5 horas al día de máxima radiación con ciertas excepciones de lugares más lluviosos.¹⁶

Las figuras 16 y 17, ilustran el cambio en la posición del sol en el solsticio de invierno y de verano.

En consecuencia, así cambia la posición del sol en solsticio de invierno y de verano

¹⁶ Hernán Romero Et Al. Irradiancia solar en territorios de la república de Chile: Pag 231: Santiago. 2008

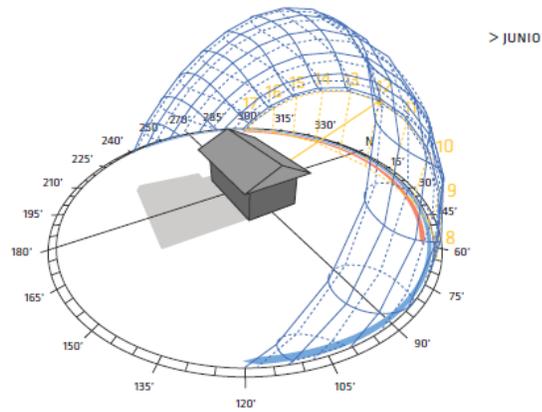


Figura 16; Posición del sol en solsticio de invierno a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 39° (Pucón)¹⁷.

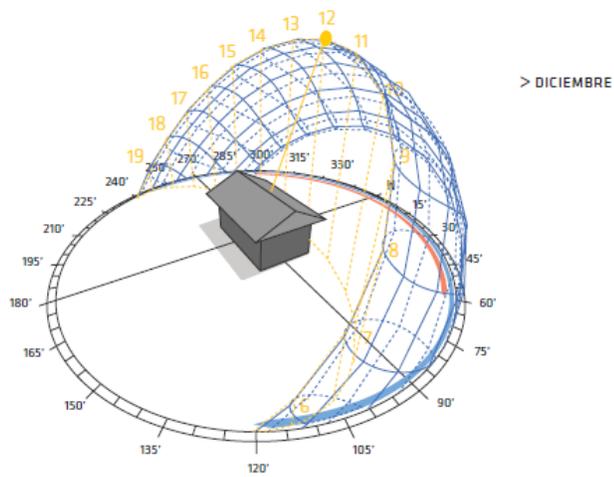


Figura 17: Posición del sol en solsticio de verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 39° (Pucón)¹⁸.

¹⁷ Waldo Bustamante: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social: pag 162: Santiago. 2009

¹⁸ Waldo Bustamante: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social: pag 162: Santiago. 2009

2.1.5 UNIDADES UTILIZADAS

La insolación, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades.

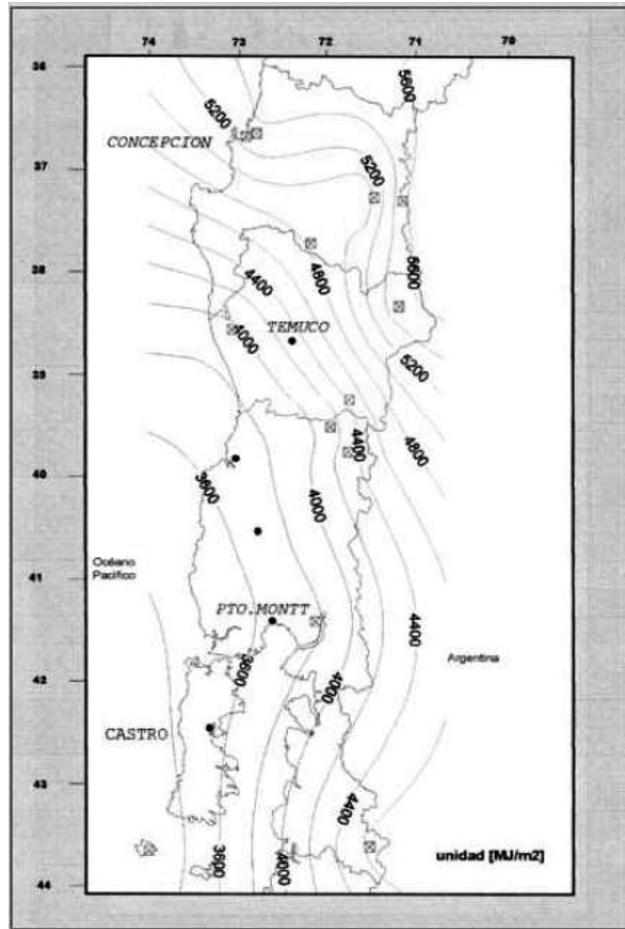
En la tabla 2, se entregan las diferentes unidades comúnmente utilizadas y su correspondiente factor de conversión.

Tabla 2: Unidades y conversiones utilizadas en Energía Solar Fotovoltaica

UNIDAD	EXPLICACIÓN	CONVERSIÓN
Potencia Solar		
Wp	Vatio pico	-
W	Vatio	-
KW	Kilovatio (1000 w)	-
W/m ²	Vatio por metro cuadrado	
Energía Solar		A kWh/m²
kWh/m ²	kWh por metro cuadrado	1
kJ/cm ²	kJ por centímetro cuadrado	2,778
MJ/m ²	MJ por metro cuadrado	0,2778
kcal/cm ²	1000 calorías por centímetro cuadrado	11,67
BTU/pie ²	Unidades Térmicas británicas por pie cuadrado	0,0428
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0,0116

2.2 RECURSO SOLAR EN CHILE

En el mapa 1, se puede observar la irradiación global anual en plano horizontal de la zona sur, expresados en MJ/W², Que nos da una referencia de 4400MJ/m² y 1050 KWh/m².



Mapa 1: Mapa Irradiación Global Anual, en Plano Horizontal Zona Sur (Regiones VIII – X, Chile) (MJ/m²)

2.2.1 DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR LOCAL

El recurso solar en la comuna de Pucón es muy elevado en algunos meses del año, y a la vez muy bajo en los meses de invierno, por eso calcularemos con los datos del mes más crítico, que utilizaremos del libro de Irradiancia del territorio de Chile.

La irradiación diaria se calcula dividiendo la irradiación mensual por el número de días del mes. En este caso, para el mes de julio se tiene:

$$47,2 \text{ (kWh/m}^2\text{)}/31 \text{ días} = 1,523 \text{ kW/m}^2$$

[2]

Tabla 3: Datos de irradiación global mensual y anual en diferentes inclinaciones y Azimut de la comuna de Pucón.

TABLA C60 IRRADIACION GLOBAL MENSUAL Y ANUAL EN DIFERENTES INCLINACIONES Y AZIMUT (kWh/m²)

LOCALIDAD: PUCON
LATITUD: 39.27 [GRADOS] SUR

Az	INCL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
180 al Norte	29	170,8	141,6	132,3	96,6	56,0	45,1	45,5	73,6	92,1	131,7	153,7	160,1	1299,3
	39	160,5	136,2	130,9	98,7	58,0	47,3	47,2	75,3	91,6	127,6	145,4	149,8	1268,5
	49	147,1	128,0	126,8	98,5	58,8	48,5	47,9	75,5	89,3	121,1	134,4	136,6	1212,6
	59	131,1	117,5	120,1	96,3	58,3	48,7	47,7	74,1	85,3	112,4	121,0	121,2	1133,6
	90	82,3	75,4	86,9	77,8	49,8	43,0	41,1	61,0	64,4	75,4	76,3	78,1	811,4

2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

La radiación, como se pudo analizar, puede presentarse de diferentes maneras, de ahí la importancia de saber con qué equipos se cuenta para medir la radiación sea esta, difusa, global, directa y brillo solar.

De entre estos equipos los principales son los mostrados en el cuadro 2:

Cuadro 2: Instrumentos de medida y detalle de medición.

Instrumento de medida	Detalle de medición
Piranómetro	Radiación global, directa, difusa reflejada
Pirheliómetro	Radiación solar, directa e incidencia normal
Actinógrafo	Radiación global
Heliógrafo	Brillo solar

2.3.1 PIRANÓMETRO

Es el equipo más utilizado para la medición de radiación solar, mide radiación directa y difusa sobre un plano horizontal de 180 grados.

Consiste de una serie de termocuplas, que en este caso están formadas por una unión de dos placas metálicas de diferente material y conductividad térmica, estas placas están pintadas de colores blanco y negro en un pequeño disco. El cambio de temperatura en estas placas metálicas produce un cambio de voltaje que es proporcional a la radiación.

2.3.2 PIRHELIÓMETRO

Los pirheliómetros son instrumentos que sirven para medir la intensidad e incidencia normal de la radiación solar directa emitida por el disco solar.

2.3.3 ACTINÓGRAFO

Es un instrumento que sirve para medir radiación global. Este funciona mediante un sensor termo-mecánico, protegido por una cúpula en vidrio.

Está formado por un arreglo bimetálico de dos superficies, una pintada de color negro para que absorba las ondas electromagnéticas de radiación solar y la otra de color blanco para que las refleje, y así generar una diferencia de temperatura. Esto provoca una curvatura en la placa de color negro que se amplifica por medio de palancas y se transmiten a un tambor movido por un mecanismo de reloj para describir una gráfica que registra los valores de radiación global.

2.3.4 HELIÓGRAFO

Este instrumento registra las horas de sol efectivas en el día, insolación o brillo solar. Opera focalizando la radiación solar por medio de una esfera de vidrio, en una cinta con escalas de horas, que por la exposición a la radiación solar directa se quema formando líneas. La longitud de dichas líneas proporciona el número de horas de brillo de sol.

2.3.5 CELDA FOTOVOLTAICA

Este método se puede realizar de forma casera, utilizando una celda fotovoltaica. Se miden valores de corriente con cierta carga constante, y para obtener su valor equivalente en radiación, se debe utilizar la primera vez un Piranómetro. La precisión de este medidor es mucho menor que la del Piranómetro y solo mide la radiación total o global.



Figura 18: Piranómetro



Figura 19: Actinógrafo



Figura 20: Heliógrafo



Figura 21: Celda fotovoltaica

CAPÍTULO 3. UBICACIÓN DEL PROYECTO

3.1 SECTOR DE LA COMUNA DE PUCÓN DONDE SE PLANTEA EL PROYECTO.

Pucón es un lugar ideal para producir proyectos de eficiencia energética, o de energías renovables no convencionales, ya sea por su desarrollo económico, por ser una comuna eco-amigable, turística y de gran belleza natural. Esto hace irresistible querer aportar un granito de arena y de una forma limpia, renovable, que no se consume, y por sobre todo amigable con el medio ambiente.

Es una de las comunas con mayor actividad turística del país y por lo cual existen muchos proyectos e inversiones dentro de la misma comuna. Pucón a buscado mantener un equilibrio natural entre lo urbano y su entorno, por eso nace este proyecto, como una idea de buscar posibles soluciones energéticas limpias y así contribuir a un medio ambiente que vaya a la par con el crecimiento de la comuna, y además como una forma de producir energía eléctrica y separada de la misma matriz energética del país que ya esta sobrecargada.

La casa habitación a considerar en este estudio, está a una distancia de 1 Km del tendido eléctrico SIC, por lo cual, hacer una instalación eléctrica directa desde el Sistema Interconectado Central hacia la casa es una inversión alta (9.500.000)¹⁹, por este motivo, se busca un método alternativo de energización rural que pueda ser mas barato y completamente independiente, pero que supla las necesidades de la casa-habitación.

¹⁹ CGE distribución S.A con sus contratistas envían cotización de \$950.000 cada 100 mts de instalación con materiales incluidos y mano de obra.



Mapa 2: Sector rural donde se plantea el proyecto, a 3.1 km al norte de comuna de Pucón.

3.2 PLANO DE LA CASA-HABITACIÓN DEL PROYECTO SOLAR FOTOVOLTAICO.

La casa para el proyecto de este sistema solar fotovoltaico, está ubicada en un sector rural de la comuna de Pucón, posee una superficie de entre 80m^2 - 100m^2 , habitada por 4 personas. A continuación, se presentan diferentes vistas de la vivienda.

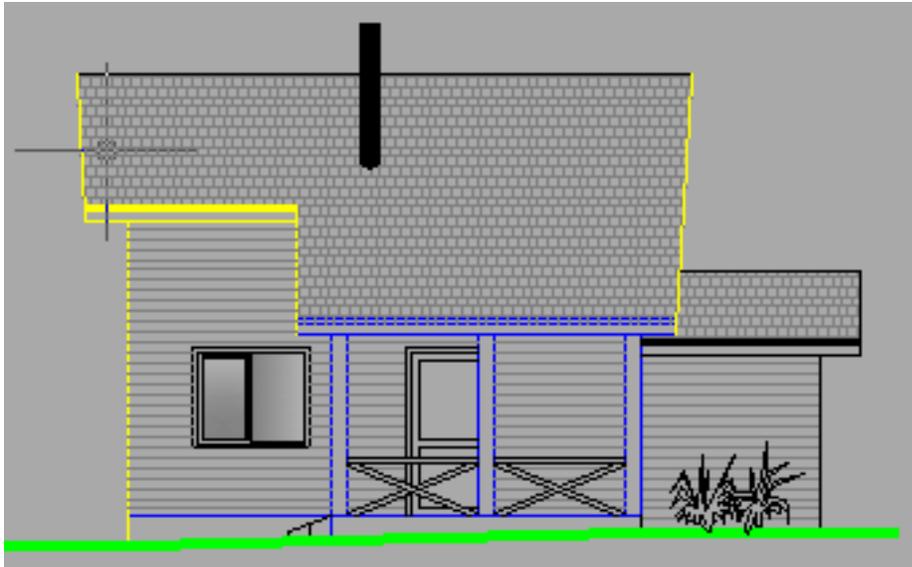


Figura 22: Plano elevación sur

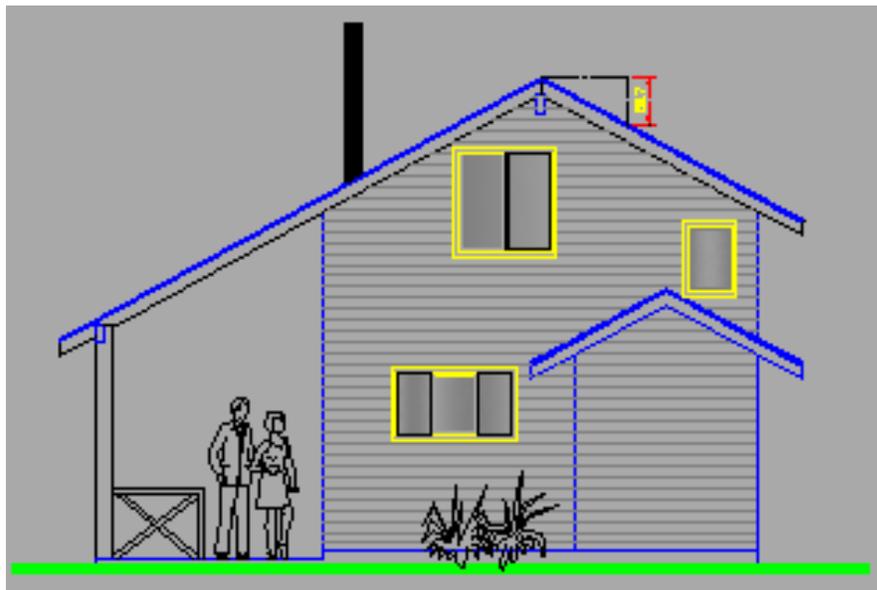


Figura 23: Plano elevación norte

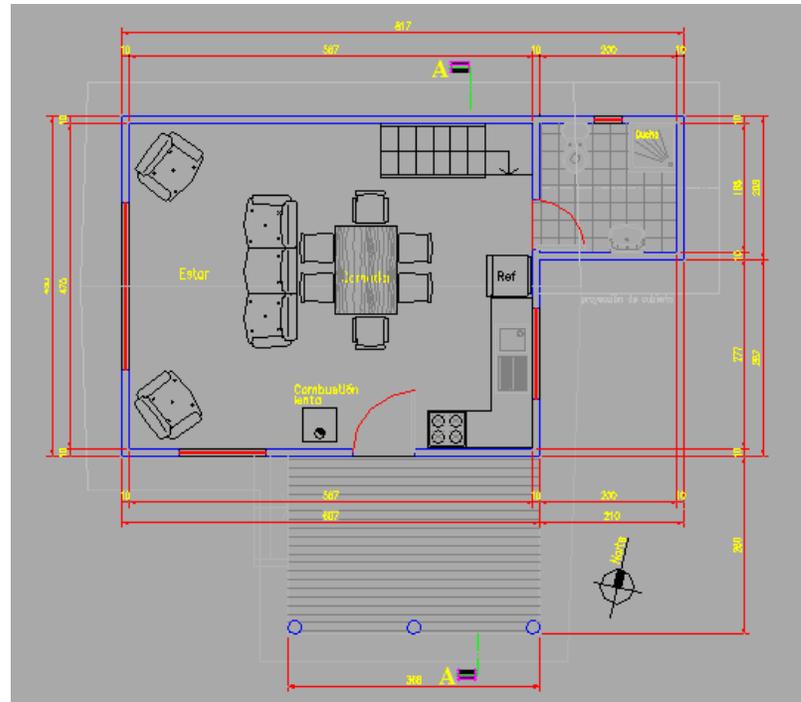


Figura 24: Planta arquitectura primer piso

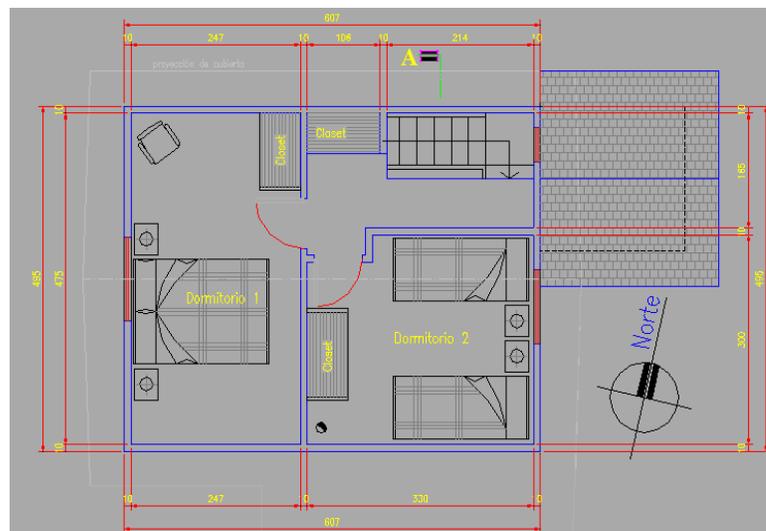


Figura 25: Planta arquitectura segundo piso

La casa- habitación sólo utiliza iluminación de bajo consumo y convierte toda la energía producida de corriente continua a corriente alterna, con un potencial eléctrico de 220V.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño de energía solar fotovoltaica que se desarrolla, se rige por el alcance y campo de aplicación de la Norma Chilena NCh2898.Of2004²⁰ (Parámetros característicos de sistemas fotovoltaicos autónomos). Esta norma define los principales parámetros eléctricos, mecánicos y ambientales que se necesitan para la descripción y análisis funcional de los sistemas fotovoltaicos autónomos, esto será para: los módulos, orientación, sistema de acumulación, conversión y control de energía, consumos totales, entre otros. Y por la norma NCh2896.Of2004²¹ (especificaciones generales para sistemas fotovoltaicos domésticos de 12V corriente continua). Su alcance o campo de aplicación establece los principios generales para los sistemas fotovoltaicos domésticos.

4.1 ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA REQUERIDA

4.1.1 POTENCIA REQUERIDA

Para determinar la energía requerida del sistema, es preciso detallar la cantidad de artefactos eléctricos y la iluminación de la casa-habitación, con un voltaje de funcionamiento de 220V. Previo a su determinación, es necesario definir el tiempo de utilización de estos artefactos.

²⁰ Comisión nacional de energía. Normas energías renovables Energía Fotovoltaica. Pag 45. Santiago. 2008.

²¹ Comisión nacional de energía. Normas energías renovables Energía Fotovoltaica. Pag 63. Santiago. 2008.

4.1.2 TIEMPO DE UTILIZACIÓN

Este cálculo de dimensionamiento del sistema fotovoltaico se regirá por la norma NCh2896.Of2004, que establece:

Hora de funcionamiento de luminarias de bajo consumo (iluminación).

Hora de funcionamiento de otros consumos (artículos con resistencia y motores eléctricos)

La tabla siguiente, indica el consumo de energía a determinar.

Tabla 4: Consumo de energía diaria y mensual de una casa-habitación, habitada por cuatro personas.²²

Ítem	Artículo Eléctrico	Cantidad (A1)	Potencia (Watt)(A2)	Horas diarias de uso (A3)	Energía (Wh/día)
1	Iluminación, Entretención y carga.				
1.1	Ampolletas bajo consumo	14	20	3	840
1.2	Notebook	2	65	3	390
1.3	Lcd 32"	1	130	2	260
1.4	televisor 24"	1	72	2	144
1.5	Play station 3	1	40	1	40
1.6	Radio	1	70	1	70
1.7	Subwoofer	1	20	1	20

²² Tabla adaptada por el autor del libro "Factibilidad de autoabastecimiento energético domiciliario por medio de energía fotovoltaica". Pagina 56. Edgardo Enrique Mora Quezada. Valdivia 2009.

1.8	Cargador de celular	2	3.6	2	14.4
	Total				1778.4
2	Motor eléctrico				
2.1	Licuadaora	1	270	0.04	10.8
2.2	Lavadora	1	330	0.1	33
2.3	Refrigerador	1	36	24	864
2.4	Aspiradora	1	1400	0.08	112
2.5	Centrífuga	1	330	0.12	39.6
2.6	Motor extracción de agua	1	400	0.5	200
	Total				1259.4
3	Artículos con Resistencias				
3.1	Hervidor	1	1900	0.1	190
3.2	Secador de pelo	1	1500	0.1	150
3.3	Microondas	1	1500	0.13	195
3.4	Plancha	1	1200	0.06	72
3.5	Calienta cama	2	40	0.5	40
	Sub-Total				3684.8
	Consumo total Diario				4310
	Consumo total mensual (30 días)				129300

Con los datos de irradiación se calcula el sistema por la norma Nch2896.Of2004, que establece: “El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo igualar a la requerida por la carga”. En este proyecto, el promedio de irradiación diario del mes más crítico (calculado en el capítulo 2). El promedio de irradiación diario del mes más crítico (Julio) es de: 1,523 kWh/m²/día.

Por otra parte, y para el cálculo de la energía requerida se deben considerar los rendimientos de los diferentes elementos del sistema (según norma ya señalada), los cuales se indican a continuación:

Inversor con rendimiento de un 90%.

Batería con un 95% de rendimiento.

Profundidad de descarga de la batería al 60%

Número de días de autonomía = 3 días.

Tensión del sistema = 12V.

La energía demandada diariamente es de 4310W/ Día (según calculo de tabla 4).

Cabe recordar que las eficiencias de la batería y del inversor influyen en el cálculo de la energía total necesaria. Si se tiene en cuenta el esquema básico de un SFVA con cargas AC como el que se muestra a continuación, se puede comprobar como la eficiencia del inversor y baterías afecta al consumo AC.

La energía requerida al día es:

$$ET = EAC / (h_{BAT} \cdot h_{INV}) \quad [3]$$

$$ET = 4310 / (0.95 \cdot 0.90) = 5041 \text{ W / día}$$

A esta cantidad, se le deben descontar las pérdidas de eficiencia ya señaladas en la batería e inversor, lo cual arroja un valor total de energía consumida de 4310W/día. La figura siguiente, ilustra este proceso.

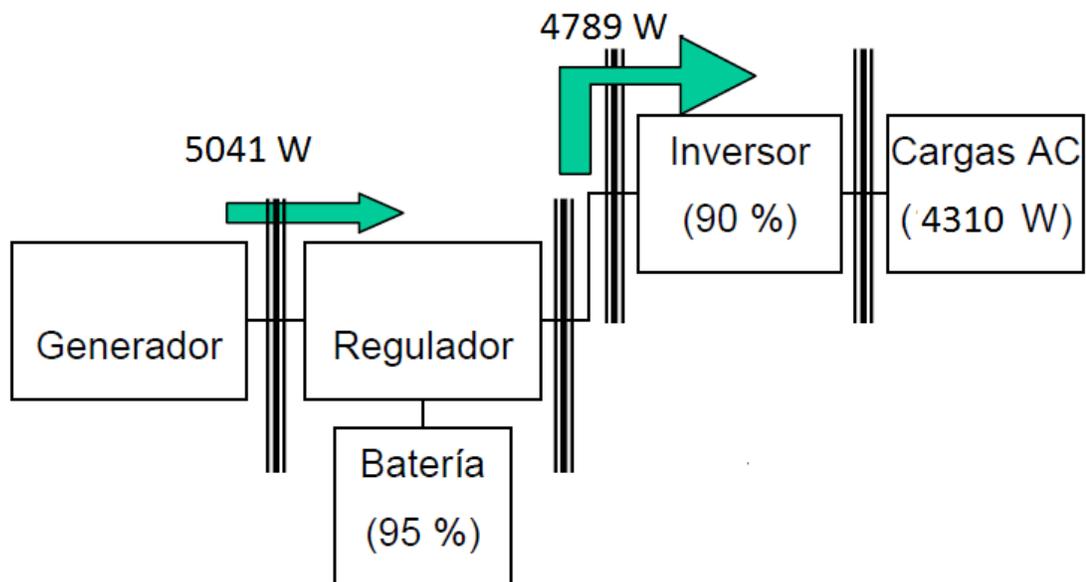


Figura 26: Esquema de producción de energía para llegar a lo solicitado.

4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Conocida la demanda energética, se está en condiciones de Dimensionar el generador fotovoltaico.

Por norma NCh2986.Of2004, los módulos fotovoltaicos deben certificar un rendimiento mayor o igual que 90% al décimo año.

El número total de módulos fotovoltaicos que se deben instalar se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$NT = ET / (Pp \cdot Gmb \cdot PG) \quad [4]$$

Siendo:

ET: Energía real requerida (Wh)

Pp: Potencia Pico del Módulo (W / kW / m²)

Gmb: Radiación Global sobre una superficie inclinada un ángulo b (kWh /m²)

PG: Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9)

Por lo tanto, remplazando valores se tiene:

$$NT = 5041 / (150 \cdot 1,523 \cdot 0,75) = 30 \text{ paneles solares.}$$

Con el número de total de paneles que forman el generador fotovoltaico y la tensión nominal de la batería, que coincide con la tensión nominal de la instalación, se puede determinar si es necesario agrupar los módulos en serie y en paralelo. El número de módulos que habrá que conectar en serie, se calcula como sigue²³:

²³ Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Jorge Aguilera. Escuela politécnica Superior. España 2009.

$$N_s = V_{Bat} / V_m \quad [5]$$

Dónde:

N_s : número de módulos en serie por rama

V_{Bat} : tensión nominal de la batería (V)

V_m : tensión nominal de los módulos (V)

Del mismo modo, el número de ramas en paralelo a conectar para suministrar la potencia necesaria, viene dado por:

$$N_p = N_T / N_s \quad [6]$$

Reemplazando valores en las formulas anteriores, se obtiene.

$$N_s = V_{Bat} / V_m = 24 / 19.15 = 2 \text{ en serie}$$

$$N_p = N_T / N_s = 30 / 2 = 15 \text{ ramas en paralelo}$$

Esto implica que nuestra estructura estará constituida por 2 corridas de paneles. Por 15 paneles en paralelo (15x2)

Con estos cálculos queda dimensionado el generador fotovoltaico, tanto en su número de módulos, como en la inclinación de los mismos (39 grados latitud sur).

4.2.1 DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN (BATERÍA)

Para definir el tamaño del acumulador, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros, lo que deben cumplir con la Norma NCh2896.Of2004.

4.2.1.1 MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA

Es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma. En este caso la profundidad de descarga será del 0.6 (60%).

4.2.1.2 DÍAS DE AUTONOMÍA

Es el número de días consecutivos que en ausencia de sol, el sistema de acumulación es capaz de atender el consumo, sin sobrepasar la profundidad máxima de descarga de la batería. Los días de autonomía posibles, dependen entre otros factores del tipo de instalación y de las condiciones climáticas del lugar, en nuestro caso, será de 3 días de autonomía.

4.2.1.3 CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS

Es la cantidad de energía que debe ser capaz de almacenar, para asegurar los días de autonomía. Las expresiones que se utilizan para hallar la capacidad de la misma, tanto en Wh (vatios hora) como en Ah (amperios hora) son:

$$C_n \text{ (Wh)} = E_T \cdot N / P_d \quad C_n \text{ (Ah)} = C_n \text{ (Wh)} / V_{bat} \quad [7]$$

Siendo:

C_n: capacidad nominal de la batería (Wh o Ah)

E_T: Energía real requerida (Wh)

P_d: Máxima Profundidad de descarga de la batería

V_{Bat}: tensión nominal de la batería (V)

Es importante, señalar que los periodos de autonomía cortos, alargan la vida de las baterías y dan al sistema mayor fiabilidad.

La batería se elige de forma que se aproxime al valor de capacidad nominal C_n calculado. Igualmente se tiende a elegir la batería redondeando el valor C_n, para obtener un mejor margen de seguridad.

4.2.2 DIMENSIONADO DE LA BATERÍA

Recordamos que los dos parámetros importantes para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga y el número de días de autonomía, estos se deciden en la incidencia de nubes para el número de días de autonomía del sistema (N), y la profundidad de descarga por mejor eficiencia a lo largo del tiempo de las baterías (P_d). En este caso, por norma ya señalada estos valores son:

P_d = 0.6 y N = 3.

Por lo tanto, la capacidad nominal de la batería según la ecuación [7]:

$$C_n(\text{Wh}) = ET \cdot N / P_d = 5041 \cdot 3 / 0.6 = 25205 \text{ Wh}$$

$$C_n(\text{Ah}) = C_n(\text{Wh}) / V_{\text{bat}} = 25205 / 24 = 1050 \text{ Ah}$$

Para prevenir sobrecargas, se usa una capacidad nominal del banco de baterías de 1050Ah según lo calculado en la ecuación anterior. En concreto, se utilizan 15 baterías de 100Ah, lo que nos da una capacidad final de 1500Ah.

4.2.3 DIMENSIONADO DEL REGULADOR

El regulador es el elemento que controla las cargas y descargas de la batería, permitiendo el proceso de carga de la misma desde el generador fotovoltaico y el proceso de descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global.

A la hora de dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se habrá de calcular la corriente que produce el generador, la corriente que consume la carga, y la máxima de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador en funcionamiento.

La corriente de corte a la que debe actuar el regulador será fijada en el propio dispositivo, pero ha de soportar la máxima carga posible, que la instalación pueda producir.

La intensidad de corriente que produce el generador es la suma de las intensidades que producen los módulos funcionando a pleno rendimiento:

El regulador cumple los requisitos de la norma NCh2896.Of2004, que establece:

- Protección contra descargas profundas
- Debe evitar sobrecarga de las baterías
- Se deben proveer protecciones contra corrientes inversas, entre otras.

$$I_G = I_R \cdot N \quad I_R = P_p \cdot h_m / V_m \quad [8]$$

Siendo

I_G : Corriente producida por el generador (A)

I_R : Corriente producida por cada rama en paralelo del generador (A)

NR: Número de ramas en paralelo del generador

Pp: Potencia Pico del módulo fotovoltaico (W)

hm: Rendimiento del módulo

Vm: Tensión nominal de los módulos (V)

La intensidad que consume la carga, se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo:

$$IC = PDC / Vbat + PAC / 220 \quad [9]$$

$$IC = 0 + 5041/220 = 22.9A$$

Dónde:

IC: Corriente que consume la carga (A)

PDC: Potencia de las cargas en DC (W)

Vbat: Tensión nominal de la batería (V)

PAC: Potencia de las cargas en AC (W)

De estas dos corrientes, la máxima de ambas será la que el regulador deberá soportar, y será la que se utilice para su elección.

$$IR = \max (IG, IC) \quad [10]$$

La intensidad de corriente que produce el generador es la suma de las intensidades que producen los módulos funcionando a pleno rendimiento:

Utilizando la ecuación [8], se tiene:

$$I_R = P_p \cdot h_m / V_m = 150 \cdot 0.75 / 7.83 = 14.4 \text{ A}$$

$$I_G = I_R \cdot N_R = 14.4 \cdot 15 = 216 \text{ A}$$

Por lo tanto, nuestra $I_R = \max(216 \text{ A}, 22.9 \text{ A})$ por lo cual, el regulador debe soportar una carga de 216A.

El número de reguladores lo sacamos dividiendo la corriente producida por el generador, dividido la capacidad máxima del regulador.

$$\text{Número de reguladores} = \frac{\text{Corriente producida por el generador (A)}}{\text{Corriente máxima del regulador (A)}} \quad [10]$$

$$\text{Número de reguladores} = \frac{216 \text{ (A)}}{60 \text{ (A)}}$$

$$\text{Número de reguladores} = 3,6$$

Por lo tanto, se necesitan 4 reguladores de carga.

4.2.4 DIMENSIONADO DEL INVERSOR

La Potencia AC de todos los elementos que funcionan en alterna es de 9327 W. Todos estos elementos no estarán funcionando a la vez, por lo que solo se calcula en un cierto periodo de tiempo el sistema a toda marcha, en nuestro caso calcularemos un consumo de todos los elementos en un tiempo de 10 minutos que nos da un consumo de 1555 W multiplicando por un factor de funcionamiento del 75 % proporcionaría una potencia alterna de 1166 W. Se deberá instalar por tanto un inversor que tenga una potencia entorno a los 1200W.

4.2.5 DIMENSIONADO DEL CABLEADO

El cableado va regulado por la norma Nch 2896.Of2004, que establece:

El dimensionado del cableado constituye una de las tareas en las que se deberá prestar especial atención, ya que siempre que exista consumo habrá pérdidas debido a las caídas de tensión en los cables. Estas pérdidas óhmicas deben cumplir la más restrictiva de las dos condiciones siguientes:

1. Verificar las normas electrotécnicas de baja tensión
2. La pérdida de energía debe ser menor que una cantidad prefijada.

Su valor puede calcularse con las siguientes expresiones:

$$PPC = I^2 \cdot RC \quad RC = r \cdot L / S \quad [11]$$

Siendo:

PPC: Potencia de Pérdidas en los conductores (W)

I: Corriente que circula por los conductores (A)

RC: Resistencia óhmica de los conductores (W)

r: Resistividad del conductor ($\text{W} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)

L: Longitud de los conductores (m)

S: Sección de los conductores (mm^2)

Primero se calcula la pérdida de potencia en los conductores, según norma señalada en este punto. Que corresponde entre un 10%-15% del sistema. Considerando un 10% y utilizando la ecuación 2, se tiene:

$$\text{Resistibilidad del Cobre} = 1,7 \times 10^{-2} \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$$

$$P/I^2 = 504/216^2 = 1,08 \times 10^{-2} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$$

$$R_c = 1,08 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{Ohm}$$

$$L/S = 1,08 \times 10^{-2} \text{ Ohm} \cdot \text{m} / 1,7 \times 10^{-2} \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m} = 0,64 \text{ m} / \text{mm}^2$$

Por lo tanto, por cada 1,5 m de largo, el área de la sección de cable será 1 mm^2 , esto como dimensionado mínimo, pero nos ajustaremos a la norma. Por lo señalado anteriormente, las secciones mínimas de los cables en cada una de las líneas serán las siguientes:

- Del generador fotovoltaico al regulador de carga: $2,5 \text{ mm}^2$
- Del regulador de carga a las baterías: 4 mm^2

4.3 DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS

Para tener un sistema equilibrado y confiable, es pertinente dividir los elementos como paneles solares, baterías y controladores en partes semejantes por cada inversor. Estos valores se tomarán como referencia, dividiendo los elementos por cada inversor en números enteros pares, según las posibilidades de localización.

De las relaciones anteriores se tiene lo siguiente:

- Número total de paneles.
- Número total de inversores.
- Número de paneles por inversor: determina cuántos paneles pertenecerán al sistema de cada inversor.
- Número total de baterías.
- Número de baterías por inversor: determina cuántas baterías pertenecerán al sistema de cada inversor (ver ecuación [13])
- El número de paneles por inversor, será calculado relacionando el número total de paneles con el de inversores, que se define como sigue:

$$\text{Número de paneles por inversor} = \frac{\text{Número total de paneles}}{\text{Número total de inversores}} \quad [12]$$

$$\text{Número de paneles por inversor} = \frac{30}{1}$$

$$\text{Número de paneles por inversor} = 30$$

$$\text{Número de baterías por inversor} = \frac{\text{Número total de baterías}}{\text{Número total de inversores}} \quad [13]$$

$$\text{Número de baterías por inversor} = \frac{15}{1}$$

$$\text{Número de baterías por inversor} = 15$$

Para que la corriente no se devuelva al panel y provoque sobrecargas y cortocircuitos, se utilizan protecciones (fusibles), que están incorporados dentro de los elementos del sistema, ya sea en el inversor y regulador de carga.

4.4 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

La selección de los elementos se hará dependiendo de costo de los equipos y las características antes calculadas. Además, la elección de los elementos la haremos mediante Norma NCh2896.Of2004

4.4.1 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

ZT 150S mono

Células		Características estructurales	
Tecnología	Silicio monocristalino	Dimensiones L x W x H	1482 x 671 x 40 mm
Número de células por módulo	36	Peso	12.5 kg
Dimensiones	125 x 125 mm		

Características eléctricas		
		ZT 150S
Potencia máxima	P_{max}	150 W
Tensión a circuito abierto	V_{oc}	22.43 V
Tensión punto máx. potencia	V_{mp}	19.15 V
Intensidad de cortocircuito	I_{sc}	8.46 A
Intensidad punto máx. Potencia	I_{mp}	7.83 A

* En condiciones estándar (STC) Irradiancia 1000W/m², AM1.5, temperatura de la célula 25°C.

Características térmicas	
TONC	47°C ± 2°C
Coefficiente de temperatura de V_{oc}	- (70 ± 5) mV / °C
Coefficiente de temperatura de I_{sc}	+ (0.065 ± 0.015) % / °C
Coefficiente de temperatura de P_m	- (0.5 ± 0.05) % / °C

* TONC: Temperatura de Operación Nominal de la Célula

Parámetros del sistema	
Tensión máxima del sistema	1000 VDC
Máxima intensidad inversa	No aplicar a los módulos tensiones mayores a V_{oc}

Características adicionales	
Caja de conexiones	1000 VDC
Conector	Plug type 4
Tolerancia	± 5%
Cable	4mm ²
Longitud del cable	800mm
Número de diodos de by-pass	2 piezas

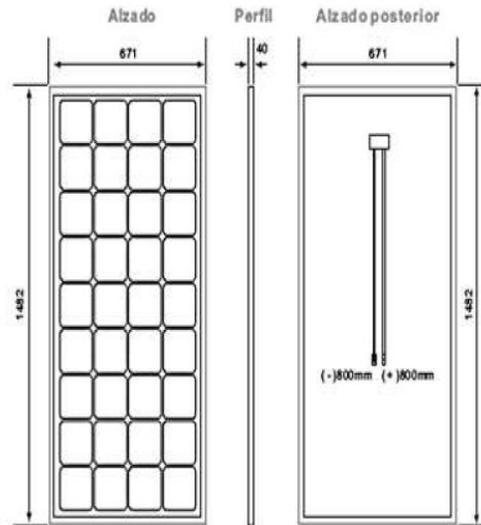


Figura 27: Catálogo panel solar Referencia: Tienda Puntosolar.

4.4.2 BATERÍAS



BATERIAS SELLADAS 12 VOLT MARCA HAZE POWER

Baterías selladas de construcción en AGM (Absorbent Glass Material), libres de mantenimiento, con una esperanza de vida útil de 10–12 años en condiciones nominales.

Principales características



- Bajo costo inicial
- Sellada, no requiere adicionar electrolito
- Válvula de seguridad VRLA
- Diseño y ensamble de terminales de alta calidad
- Rendimiento superior para altas corrientes de descarga
- Capacidad de ciclo profundo y durabilidad incrementada para aplicaciones de fuerte demanda.
- Baja autodescarga
- Aprobadas por FAA e IATA

ESPECIFICACIONES TECNICAS BATERIAS HAZE POWER MODELOS HZB

Batería Haze Power modelo	HZB12 - 55	HZB 12-70	HZB 12-80	HZB 12-100
Tipo de batería	Sellada, recargable, construcción en AGM			
Voltaje nominal	24 V			
Capacidad nominal hasta 1,70 Vpc a 20 °C	55 Ah	70 Ah	80Ah	100 Ah
Vida útil nominal de diseño	10-12 años a 20 °C			
Separador	Absorbent Glass Material			
Tensión nominal de flote	2,27 a 2,30 Vpc de 15 a 24 °C			
Tensión nominal de carga	2,35 a 2,40 Vpc			
Válvula de seguridad	Máx. presión interna de 2,5 psi			
Recombinación de gas	Más del 99 %			
Torque apriete de terminales	5 – 7 Nm			
Dimensiones LarxAncxAlt mm	228x137x20 7	259x168x20 8	259x168x20 8	305x168x20 8
Peso (Kg)	17,5	21,5	23,7	30,0
Resistencia interna (mOhms)	6,5	5,0	5,0	4,0
Máxima corriente de carga (A)	14	18	20	25
Corriente de cortocircuito (A)	1.700	2.100	2.400	2.900
Rango Temperatura	- 10 °C a 45 °C			
Cables	Cables aislados suministrados a requerimiento			

Figura 28: Catálogo baterías ciclo profundo (Tienda Heuser)

4.4.3 REGULADOR DE CARGA



TEMPERATURA AMBIENTE DE FUNCIONAMIENTO	de -40 °C a +45 °C
TERMINAL	35 mm ² / 2 AWG
PESO	4,2 kg / 9,2 lb
DIMENSIONES	29,1 x 13 x 14,2 cm 11,4 x 5,1 x 5,6 pulgadas
CERTIFICACIONES	CE, ETL (UL1741) cETL (CSA C22.2 N.º 107.1-01) Conforme a los requisitos de la FCC clase B parte 15 De conformidad con NEC
GARANTÍA	5 años

TriStar MPPT con tecnología TrakStar es un controlador avanzado con capacidad de detección del punto de potencia pico para sistemas autónomos de energía solar de hasta 3 kWp.

- **MAXIMIZA LA RECOGIDA DE ENERGÍA:** mayor detección de la potencia pico que otros controladores MPPT.
- **GRAN EFICIENCIA:** rendimiento pico del 99%, el nivel más alto de eficiencia del sector para los controladores de carga.
- **FUNCIONES COMPLETAS DE INTERCONEXIÓN DE REDES Y COMUNICACIONES:** permite controlar el sistema, registrar datos y ajustar parámetros. Ethernet integrado en el TS-MPPT-60.

TRISTAR MPPT	TS-MPPT45	TS-MPPT60
Corriente máxima de la batería	45 A	60 A
Aporte nominal máx. de los paneles solares		
12 V	600 Wp	800 Wp
24 V	1.200 Wp	1.600 Wp
48 V	2.400 Wp	3.200 Wp
Voltaje máximo del circuito abierto	150V	
Voltaje del sistema	12/24/36 o 48 VCC	
OPCIONES*:		
Medidor Tristar-2	Sí	Sí
Medidor remoto TriStar-2	Sí	Sí
Meterhub	Sí	Sí
Adaptador EIA-485	Sí	Estándar

*El sensor de temperatura remoto está incluido en todos los TS-MPPT.

Figura 29: Catálogo Regulador de carga Referencia: Tienda Puntosolar.

4.4.5 INVERSOR DE CARGA

Utilizaremos el Inversor QM-1512SP, ya que cumple las necesidades técnicas

Especificaciones	QM-3324SP	QM-2024SP	QM-1724SP	QM-1024SP	QM-2512SP	QM-2012SP	QM-1512SP	QM-1012SP
Tensión de Salida	220Vac ± 3%							
Forma de Onda	Senoidal Pura							
Potencia Nominal	3300VA	2000VA	1700VA	1000VA	2500VA	2000VA	1500VA	1000VA
Potencia Pico (5 seg.)	11500VA	7000VA	6000VA	3500VA	8700VA	7000VA	5200VA	3500VA
Potencia Máxima (3 min.)	6600VA	4000VA	3400VA	2000VA	5000VA	4000VA	3000VA	2000VA
Frecuencia	50Hz ± 0,01%							
Distorsión a Pot. Nominal	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%	<2%
Cos φ	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1	0,1 - 1
Corriente de Salida Nominal	15A AC	9,1A AC	7,8A AC	4,6A AC	11,4A AC	9,1A AC	6,8A AC	4,6A AC
Eficiencia Pico	95%	92%	95%	92%	95%	92%	95%	95%
Entrada Nominal DC	24V DC	24V DC	24V DC	24V DC	12V DC	12V DC	12V DC	12V DC
Rango de Entrada DC	18V - 30V DC	18V - 30V DC	18V - 30V DC	18V - 30V DC	9V - 14.5V DC	9V - 14.5V DC	9V - 14.5V DC	9V - 14.5V DC
Corriente Nominal DC	162A DC	98A DC	83A DC	49A DC	245A DC	196A DC	147A DC	98A DC
Consumo en estado Stand-by	<2W							
Censado de Carga	Ajustable							

Especificaciones Generales	
Rango de Temp. de Operación	0°C a 40°C
Gabinete	Metálico, para uso en interiores con pintura de alta resistencia
Peso Total	34 Kg - 32 Kg - 22 Kg - 22 Kg - 34 Kg - 32 Kg - 22 Kg - 22 Kg
Dimensiones	46 cm x 38 cm x 16 cm // 45 cm x 25 cm x 17 cm (Alto x Ancho x Prof.) Segun Modelo
Montaje	Vertical / Horizontal
Garantía	1 año
Normativas	Resolución No 92/98 SICYM - República Argentina - Norma de Seguridad Internacional IEC 60950-1

Figura 30: Catálogo Inversor (Tienda Heuser)

4.4.6 SISTEMA DE CABLEADO Y CONEXIONES

El sistema de conexión viene dado por la norma NCh2896.Of2004, que especifica secciones mínimas de los cables y normas eléctricas como la norma IEC60811²⁴. Ya que las empresas que venden sistemas de energía solar, ofrecen la conexión a la norma y hacen la entrega de todos los productos por un precio, estos son, cables conexión entre paneles, hacia las baterías, regulador, inversor, bornes, entre otros.

4.4.7 SISTEMA HIBRIDO

Para que el sistema, también, pueda funcionar conectado al Sistema Interconectado central (SIC) y sea híbrido, se tienen que adicionar elementos que se indican a continuación.

4.4.7.1 CONMUTADOR

Conmuta las fuentes de voltaje, ósea habilita o cierra la corriente.

4.4.7.2 RELÉ

Permite abrir o cerrar el circuito eléctrico.

4.4.7.3 COMPARADOR

Compara los voltajes para que el relé actúe. Si el voltaje del sistema híbrido disminuye, le comunica al relé que tiene que abrir o cerrar el circuito eléctrico.

Estos elementos no producen una gran variación en el proyecto, pero se realiza el cálculo de costos como un sistema aislado y como un sistema híbrido.

Dado que el proyecto parte como sistema autónomo, se hace el estudio en base a la norma de sistemas fotovoltaicos autónomos las cuales son: NCh2898.Of2004 y NCh2896.Of2004, por lo cual no revisaremos normativa de un sistema híbrido, pero si se efectúa un acercamiento de sus elementos y de los costos de su instalación.

²⁴ Su campo de aplicación es para aislamiento y cubierta de cables eléctricos.

4.5 SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES

Los paneles se instalan sobre una estructura de perfiles de fierro, en forma de Costanera y Angulo, unidos por medio de pernos galvanizados y pernos de anclaje a la base de hormigón.

La elección de este diseño se debe a que es de forma sencilla, cumple los requisitos solicitados de tensiones y de fijaciones por norma chilena. Además permite una aireación constante del panel solar, para que mantenga una temperatura acorde a su eficiencia, ya que al calentarse el panel solar, pierde eficiencia.

Esta estructura se calcula para soportar el peso del panel de 12,5 Kg, y para soportar vientos definidos por la norma NCh432.Of71 (Cálculo acción del viento). Se utilizara la presión básica del viento para 0 mts de altura, y la presión dada de 55 Kgf/m², considerando posibles nevadas que también son orientadas por norma, en este caso la norma Nch431 (sobrecargas de nieve). De esta misma norma, podemos concluir que Pucón esta a 227 metros sobre el nivel del mar (MSNM), y con una latitud de 39 grados, nos determina una fuerza de 0,25kn/m² O 25kgf/m².

La estructura, además, cumple la norma Nch2896.Of2004 con respecto a la fijación de los paneles, siendo capaz de resistir el paso del tiempo (mínimo 25 años) y condiciones climáticas, entre otros.

Los cálculos y el diseño se efectúan por medio del software Pro Engineer. (Anexo 1: plano de la estructura soporte y plano de explosión), al igual que el análisis de resistencia de materiales con que se conforma el soporte del panel (Puntos de mayor tensión 4.5.1).

4.5.1 PUNTOS DE MAYOR TENSIÓN EN LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES.

El análisis de tensiones se realiza mediante el software Pro Engineer, con un análisis de falla de Von Misses.

Análisis de la estructura soportante del panel solar sometida a carga de viento (en horizontal) equivalente a una presión de 55 Kgf/m² y una carga de nieve (en vertical) equivalente a 25 Kgf/m².

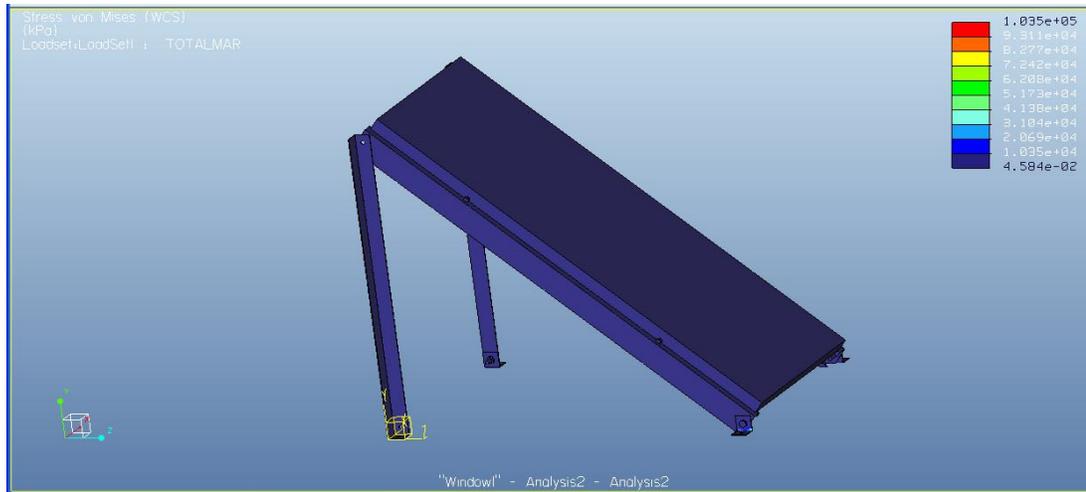


Ilustración 1: Resultado del análisis mediante software Proengineer

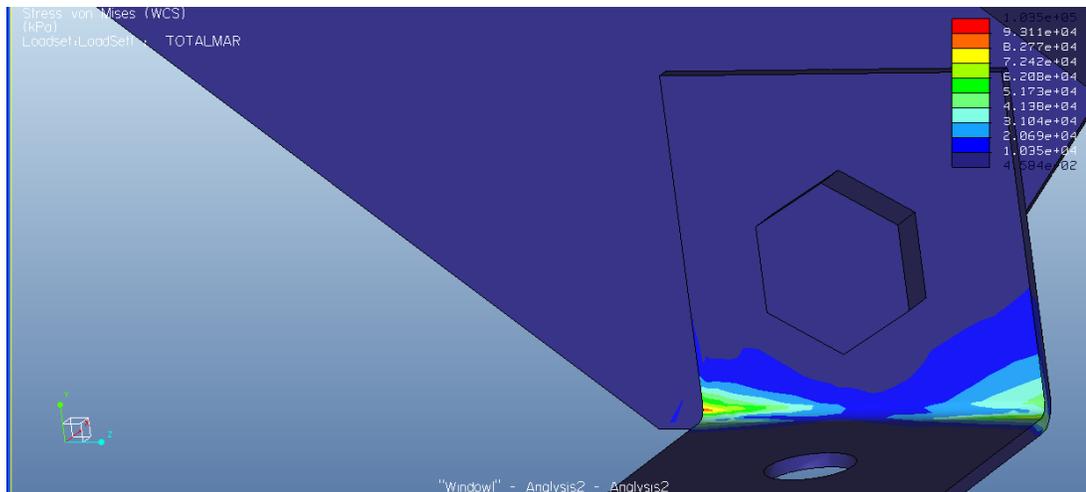


Ilustración 2: acercamiento a la zona de mayor sollicitación mediante software Proengineer.

Se puede observar que la mayor tensión se concentra en el vértice del ángulo delantero de la estructura, y que esta tensión es de 9,311e+04 [kPa], lo cual está por debajo del límite de fluencia de un acero. En este caso, se utilizará acero A36 que está por lo mínimo en el orden de los 250 [MPa], para espesores menores a 8 pulgadas.

Por lo cual nuestro diseño soporta las inclemencias del clima de la comuna de Pucón.

4.6 RADIER BASE PARA LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES

Se construye un radier de 11x3 metros, y de 8 centímetros de espesor. Este radier constituye la base para la instalación de los soportes, que son fijados con pernos de anclaje galvanizados, y sobre estos soportes instalados los paneles solares sujetos con pernos de acero inoxidable

4.7 BODEGA PARA GUARDADO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Se considera una bodega al lado de donde están instalados los paneles solares. La que albergara las baterías, inversor y el regulador. Corresponde a una pequeña pieza de 2x2 mts y 1.8 mts de alto, de la cual, solo se hará la cotización con el mismo contratista que construirá el radier. El valor final de esta bodega, asciende a \$250.000 en materiales, y \$100.000 en mano de obra. (Tabla 5: Costos totales del proyecto.)

CAPÍTULO 5. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

No existe un gran mantenimiento del sistema ya que con un paño de género se limpian los paneles. El resto de los elementos estén en un ambiente seco. No necesita grandes mantenimientos, solo revisión de rutina para ver cómo funciona el sistema.

Sin embargo, el mantenimiento se realizara considerando la norma NCh2896.Of2004, que establece un mantenimiento de las baterías, que dice lo siguiente

:

- Mantener la caja limpia para evitar corrientes de fuga.
- Engrasar los polos para evitar oxidación.
- Proteger la batería de los rayos del sol (la radiación UV daña al material sintético del cual esta hecho el recipiente).

CAPÍTULO 6. COSTOS DEL PROYECTO SOLAR FOTVOLTAICO

Los costos asociados a todo el proyecto son:

Tabla 5: Costos totales del proyecto.

Item	Denominación	Cantidad	Unidad	Valor unidad(\$)	Sub Total(\$)
1	Mano de Obra				
1.1	Radier espesor 10 cm 13x4 mí y base Bodega	38	m2	15000	570000
1.2	Instalación sistema solar Fotovoltaico	1	unidad	400000	400000
1.3	Instalación y fabricación soporte paneles	30	unidad	20000	600000
1.4	Construcción Bodega	1	unidad	100000	100000
1.5	Instalación para que el sistema sea híbrido	1	unidad	40000	40000
2	Elementos				
	Sistema Solar Fotovoltaico				
2.1	Panel solar ZT 150Wp	30	unidad	137800	4134000
2.2	Baterías selladas Haze Power 100Ah	15	unidad	99000	1485000
2.3	Regulador de carga tristar mppt 60ª	4	Unidad	47900	191600
2.4	Inversor de carga QM-1512SP	1	unidad	380000	380000

2.5	Insumos, cableado, conectores	30	unidad	20000	600000
3	Materiales Radier 8cm 13x4mt				
3.1	Hormigón	3	m3	80000	240000
3.2	Materiales construcción Bodega	1	unidad	250000	250000
4	Materiales Soporte paneles solares				
4.1	Uniones soporte				
4.1.1	Pernos de anclaje 1/2" x 3 3/4"	120	unidad	270	32400
4.1.2	Perno acero inox M6 x 20 mm	120	unidad	68	8160
4.1.3	Perno galvanizado 1/2" x 1 1/2"	180	unidad	100	18000
4.1.4	Golilla plana M6	240	unidad	25	6000
4.1.5	Golilla plana 1/2" galvanizada	120	unidad	90	10800
4.1.6	Golilla cuadrada galvanizada	60	unidad	60	3600
4.1.7	Golilla presión 1/2" galvanizada	300	unidad	60	18000
4.2	Perfiles soporte				
4.2.1	Perfil ángulo doblado 50x50x 2 mm x 6mts	10	unidad	4565	45650
4.2.3	Perfil costanera 80x40x15x 2mm x 6mts	15	unidad	8435	126525
5	Elementos extra para convertir el sistema a hibrido				
5.1	Conmutador	1	unidad	2250	2250
5.2	Relé	1	unidad	1600	1600
5.3	Comparador	1	unidad	13200	13200
5.4	Cables y Protecciones	1	unidad	15600	15600

	Sistema Hibrido			Total Neto	9292385
				Iva 19%	1765553
				Total	11057938
	Sistema Aislado			Total Neto	9219735
				Iva 19%	1751750
				Total	10971485

Por lo tanto, el costo total del proyecto de energía solar fotovoltaico aislado, motivo de este estudio, es de: \$10.971.485.

CAPÍTULO 7. SUBSIDIOS DEL ESTADO Y PRIVADOS PARA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.

Todavía no existen subsidios directos del estado para instalaciones de energía solar fotovoltaicas domiciliarias. Pero existen subsidios de ERNC, los cuales son:

1.- Programa de Apoyo a Proyectos en Etapa de Pre inversión (Corfo): Instrumento para empresas ligadas a la construcción. Puede subsidiar consultorías que conduzcan a materializar proyectos relacionados con ERNC. Inversión Mínima de UF 3500. Postulación los 365 días del año. Subsidia hasta un 40% del costo total del estudio o consultoría con topes máximos de UF 1000.²⁵

2.- Fundación para la Innovación Agraria: Proyectos Nacionales enfocados al sector agrícola. Financia construcciones que incorporen ERNC para mejorar el sector agrícola. Pueden postular personas naturales o jurídicas del mundo público o privado, entre julio y septiembre de cada año. Otorga montos máximos de \$150 millones para financiar el 80% del costo total del proyecto.²⁶

3.- Ministerio del Medioambiente: Fondo de Protección Ambiental (FPA). Financia construcciones que integren ERNC y que protejan y reparen el medioambiente. Pueden postular organizaciones sin fines de lucro y en la región donde se ejecutará el proyecto. Se postula en julio y entrega entre \$ 3 y \$ 20 millones, dependiendo de la línea de postulación, ya sea investigación, desarrollo o innovación. Contempla un cofinanciamiento mínimo de un 40% del monto solicitado al MMA.²⁷

²⁵ Fuente: www.corfo.cl

²⁶ Fuente: Ministerio de agricultura www.minagri.gob.cl

²⁷ Fuente: Ministerio del medio ambiente www.mma.gob.cl/

4.-Embajada de Australia: Programa de Ayuda Directa DAP. Financia construcciones que integren ERNC que faciliten y mejoren el desarrollo de la comunidad. Similar a Fondo que ofrece también Embajada de Japón. Pueden postular ONG u organizaciones sin fines de lucro. Postulaciones entre el 1 y 30 de junio del 2012. Montos entre US\$5.000 y US\$20.000.²⁸

²⁸ Fuente: Embajada de Australia www.chile.embassy.gov.au

CAPÍTULO 8. EVALUACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE INVERSIÓN COSTO-BENEFICIO.

Se revisan dos análisis. El primero para ver su rentabilidad con respecto a producir energía solar fotovoltaica, cuando para la situación en que un usuario de esta energía pueda cambiarse desde el SIC, al proyecto fotovoltaico autónomo, esto implica considerar, la inversión de un sistema solar autónomo versus pago de boletas de luz anuales. Lo que implica considerar la inversión y ver si el sistema es rentable en base al porcentaje de aumento anual del valor de la energía que vende el SIC y su costo anual, considerado al periodo del proyecto (24 años), con sus respectivas modificaciones de vida útil de algunos elementos del sistema fotovoltaico. (Tabla 6: Rentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo, sin instalación de tendido eléctrico para conexión al SIC)

El segundo estudio, se considera la rentabilidad en relación al costo beneficio de instalación de tendido eléctrico del SIC a la casa-habitación, en una extensión de 1Km, más el pago de boletas anuales V/S efectuar la instalación de energía solar fotovoltaica autónoma, en base al periodo del proyecto (24 años), con sus respectivas modificaciones de vida útil de algunos elementos del sistema fotovoltaico.

En el siguiente estudio se acotaran los siguientes puntos a considerar:

- No se utilizan valores de depreciación, ya que no se generan ingresos, y tampoco se pagan impuestos. Por lo tanto solo se utilizan los elementos hasta el fin de su vida útil,
- No se pagan impuestos. Ya que el sistema no genera ingresos, solo ahorro en comparación a pagar boletas de luz anualmente.
- El ahorro lo tomaremos como ingreso, pero solo para hacer el flujo de caja.
- No hay costo capital. Ya que los dineros para el proyecto son propios o por medio de subsidios directos.

La tabla 6 y 7, ilustran las situaciones de rentabilidad consideradas y enunciadas anteriormente.

Tabla 6: Rentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo, sin instalación de tendido eléctrico para conexión al SIC.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro por periodo		217224	228085	239489	251464	264037
Gasto por periodos anuales (cambio por vida útil)						
Inversión inicial	-10971485					
Ingreso (Ahorro en comparación a pagar boletas de luz)	-10971485	217224	228085	239489	251464	264037
Porcentaje anual de variación de aumento del valor de la luz		5,0%				
Valores para calculo de van (flujo de caja)		206880	206880	206880	239489	251464
VAN	-7062752					
Costo boletas de luz en 24 años con un 5% de aumento valor de luz anual		9666902				
Costo total SFA		13079485				
Costo conexión a sic de 1km, mas pago de boletas de luz (24 años)		19166902				
Porcentaje de ahorro SFA (SFA versus costo conexión a SIC + pago boletas de luz)		63%				
Costo boletas de luz en 24 años con un 7,5% de aumento valor de luz anual		13534139				

Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
277239	291101	305656	320939	336986	353835	371527	390103	409608	430089	451593
		-225000				-1503000	-380000			
277239	291101	80656	320939	336986	353835	-1131473	10103	409608	430089	451593

264037	206880	54591	206880	206880	206880	-630047	5358	206880	206880	206880
--------	--------	-------	--------	--------	--------	---------	------	--------	--------	--------

Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24
474173	497881	522775	548914	576360	605178	635437	667209
474173	497881	522775	548914	576360	605178	635437	667209
206880	206880	206880	206880	206880	206880	206880	206880

De las cantidades especificadas en la tabla 6, se aprecia claramente que el sistema solar fotovoltaico es rentable (se recupera el capital de la inversión en ahorro), si aumenta un 7,5% anual el valor de energía eléctrica, pero solo aumenta un 5% cada año. El flujo de caja considera que se ahorra hasta el año 8, donde hay que hacer cambio de elementos (regulador y pernos de anclaje). Luego en el año 12, el flujo da negativo, por otra inversión (nuevas baterías y pernos galvanizados). Finalizando el costo de inversión

en el año 13 con cambio del inversor. Todos estos cambios e inversiones se hacen por fin de vida útil de los elementos antes mencionados.

Tabla 7: Rentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo, con instalación de tendido eléctrico para conexión al SIC.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro por periodo		217224	228085	239489	251464	264037
Gasto por periodos anuales (cambio por vida útil)						
Inversión inicial	-10971485					
Ingreso (Ahorro en comparación a pagar boletas de luz)	-10971485	217224	228085	239489	251464	264037
Porcentaje anual de variación de aumento del valor de la luz		5,0%				
Valores para calculo de van (flujo de caja)		206880	206880	206880	239489	251464
VAN	-7062752					
Costo boletas de luz en 24 años con un 5% de aumento valor de luz anual				9666902		
Costo total Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA)				13079485		
Costo conexión a sic de 1km, mas pago de boletas de luz (24 años)				19166902		
Porcentaje de ahorro SFA (SFA V/S costo conexión a SIC + pago boletas de luz) 5% aumento valor de luz anual				63%		
Porcentaje de ahorro SFA (SFA V/S costo conexión a SIC + pago boletas de luz) 0% aumento valor de luz anual				59%		

□

Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
277239	291101	305656	320939	336986	353835	371527	390103	409608	430089	451593
		-225000				-1503000	-380000			
277239	291101	80656	320939	336986	353835	-1131473	10103	409608	430089	451593
264037	206880	54591	206880	206880	206880	-630047	5358	206880	206880	206880

Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24
474173	497881	522775	548914	576360	605178	635437	667209
474173	497881	522775	548914	576360	605178	635437	667209
206880	206880	206880	206880	206880	206880	206880	206880

El proyecto es rentable en la medida que no exista una conexión del SIC a la puerta. Pero al no existir y estando a 1 km o mas el proyecto es rentable con un ahorro mínimo del 59% sobre los costos de operación del SIC (el pago de luz mensualmente, mas instalación de cables del sic hasta la casa, con un aumento del 0% del valor de la

luz). Con un 5% de aumento anual de las boletas de luz, el ahorro es de un 63% en comparación a hacer la conexión al SIC mas el pago de boletas de luz.

En el caso de hacer la instalación del SIC a la casa-habitación, más el pago de luz en el periodo de 24 años, no se recupera la inversión inicial. Ya que solo contempla gastos (VAN Y TIR No existen, porque hay ingresos).

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

Respondiendo al objetivo general del trabajo, podemos concluir lo siguiente: “Es factible técnicamente generar energía eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica aislada, por medio de paneles solares. “

En lo económico, la opción de generar energía solar fotovoltaica aislada por medio de paneles solares, es rentable. Cuando no haya que hacer una instalación de tendido eléctrico (conexión del SIC a la puerta), y que el aumento anual del costo de la luz sea de un 7,5% anual o mayor (\$13.534.139, costo boletas de luz en 24 años y con un aumento del 7,5% anual), con un valor total de proyecto de energía solar fotovoltaica autónoma de: \$13.079.485. Este último valor, no incluye el aumento del 5% anual de boletas de luz por 24 años, cuyo valor es de: \$9.666.902. En este punto el capital de la inversión se recupera con el ahorro de los pagos de las boletas de luz.

El proyecto es rentable en la medida que no exista una conexión a la puerta del SIC. Pero al no existir y estando a 1 km o mas el proyecto es rentable con un ahorro mínimo del 59% sobre los costos de operación del SIC (el pago de luz anualmente, mas instalación de cables del sic hasta la casa, esto con un aumento del 0% del valor anual de luz). Y con un ahorro del 64%. Cuando hay un aumento del 5% de valor de luz anual con respecto al porcentaje de ahorro SFA (SFA V/S costo conexión a SIC + pago boletas de luz).

Cabe destacar que este estudio técnico se hizo con el mes mas critico del año (mes de Julio) en base a datos de irradiación Habiendo meses del año donde la irradiación es 3- 4 veces mayor, y con un rendimiento de estos paneles de producir hasta 3- 4 veces mas energía que la calculada por el estudio. Por lo cual se puede aumentar el consumo de la vivienda en ciertas épocas del año (preferentemente meses entre Octubre-Marzo).

Con respecto a los objetivos específicos:

Se hizo el análisis del sistema fotovoltaico y de la energía solar, explicando cada uno de los elementos del sistema, y como interactúan éstos para producir energía eléctrica. Resulta importante considerar, que los parámetros de irradiación que existen en la comuna son aptos para la aplicación de energía solar fotovoltaica, aun en los meses más críticos y con el menor promedio de irradiación mensual, que corresponde al mes de Julio (proyecto calculado para este mes, en base a menor cantidad de irradiación mensual promedio de la latitud).

Se realizó el cálculo de energía final demandada para una casa-habitación de entre 80m²-100m², habitada por cuatro personas, con un gasto promedio diario de 4310W/Día, es decir, sumando las correspondientes perdidas del sistema en el inversor de carga y las baterías. Los principales elementos del sistema son:

- 30 Paneles solares ZT 150Wp
- 15 Baterías selladas Haze Power 100Ah
- 4 Regulador de carga Tristar mppt 60A
- 1 Inversor de carga QM-1512SP
- 30 soportes paneles solares.
- Todo esto con sus respectivos cables, conectores, insumos y protecciones.

Se calculó, además, los soportes de los paneles solares por medio del software Pro-Engineer, siendo estos de acero A36 de 2mm de grosor, en perfiles Angulo y costanera, y unidos por medio de pernos. El análisis de esfuerzos por medio del mismo software señalado arrojó los siguientes resultados:

- Las mayores tensiones se concentran en el vértice del Angulo delantero de la estructura, siendo su mayor tensión de 9,311e+04 [KPa], lo cual esta por debajo del limite de fluencia del acero en uso, que es de 250[MPa].
- Los soportes están dentro de norma contra acción del viento NCh432.Of71 y

La norma Nch431 sobrecargas de nieve.

Aunque no era motivo de este estudio, el estudiar un sistema híbrido. Se realizó el cálculo de costos de un proyecto de energía solar fotovoltaico híbrido, es decir, conectado al SIC cuando el sistema solar no tenga la energía necesaria almacenada para el normal funcionamiento de la casa-habitación. También se explican los elementos extras para este sistema, cuyo costo total asciende a: \$11.057.938.

Producir energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos es más caro que conectarse a la red de distribución “cuando está opción este disponible”. Por lo anterior la utilización mayoritaria de esta tecnología es para lugares en que no se dispone de un punto cercano de conexión a la red eléctrica (SIC), como son zonas aisladas, antenas de comunicación y sistemas de monitoreo aislados. En este sentido una empresa eléctrica cobra entre 9-10 millones por kilómetro instalado de tendido eléctrico, esto es, en mano de obra, materiales e instalación de los postes²⁹, con lo cual, si se hace una instalación de tendido eléctrico, el proyecto será rentable, incluso será rentable si fuera solo la mitad de distancia de instalación del tendido eléctrico para conexión al SIC de la que tenemos.

Con un sistema de energía solar fotovoltaica aislada, por medio de paneles solares podemos aumentar la generación de energía en la época de verano, alcanzando incluso los 17000 W/día en el mes de enero, con lo cual se puede aumentar el consumo de energía en las épocas del año donde los niveles de irradiación son mayores. Con esto se puede aumentar el gasto y aumentar el número de baterías para una mayor acumulación de energía eléctrica.

²⁹ CGE distribución S.A con sus contratistas cobran \$950.000 cada 100mts con materiales incluidos y mano de obra.

Se recomienda buscar la posibilidad de subvención oficial por parte del Ministerio de Energía, o de alguna fundación que sea del gobierno, para disminuir los costos propios de la persona que solicita el proyecto. También se sugiere capacitar a los habitantes de la casa-habitación en hábitos que le permita el ahorro de energía y el uso de electrodomésticos de bajo consumo.

Resulta importante destacar, que mientras mayor sea la eficiencia de los paneles solares, mayor será la producción de energía solar fotovoltaica. En este sentido, y aunque este trabajo fue hecho con una eficiencia de los paneles solares del 18%, hoy en día ya se está trabajando en paneles solares que permitan alcanzar una eficiencia práctica de un 24%.

Aunque los altos costos de implementación frenan muchas veces los proyectos de energía solar fotovoltaica, a partir del año 2010 se comenzó una alta competencia del rubro solar, permitiendo que disminuyan considerablemente los costos de los equipos.

Las energías renovables son una amplia forma de producir energía limpia, segura, renovable y por sobre todo eco-amigable, y que a la vez ayudan a reducir el impacto del calentamiento global, ya que a mayor uso de energías renovables, es menor el uso de producir energía en base a combustibles fósiles, carbón, gas, etc.

La posibilidad de producir energías renovables en Chile es fuerte, ya que existen condiciones insuperables de producir energías renovables, como energía mareomotriz por el amplio sector costero, energía geotérmica por los variados cordones volcánicos, energía eólica en el desierto y biomasa. Chile debe aprovechar los recursos disponibles y ser capaz de generar de forma masiva energía limpia y sustentable.

No quisiera concluir este trabajo sin dejar de mencionar que este tema que comenzó para conocer mas sobre esta temática, me ha permitido indagar el gran desarrollo que ha experimentado en la actualidad, con una amplia investigación, desarrollo e implementación de la energía solar que va en aumento a mejores eficiencias y rendimientos. De forma limpia, segura y presentada como la energía verde del futuro. Espero que este proyecto contribuya, incite, eduque y de bases solidas a posibles personas que quisieran aplicar, analizar y estudiar instalaciones basados en este tipo de energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia chilena de eficiencia energética
- Aguilera Jorge. Hontoria Leocadio. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Universidad de Jaén. 2010
- Bustamante Waldo. Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, G. Santiago de Chile. 2009.
- Dirección Chilena del Cobre. Demanda de energía eléctrica en la minería del cobre y perspectivas de seguridad en su abastecimiento. Santiago: 2010.
- Feinstein Alejandro- Objetivo Universo. Buenos Aires: Colihue, 2005.
- Greenpeace. Energía solar revolución energética. Bogotá: 2011
- Peralta Benito Tomas. Guía del instalador de energías renovables. Madrid. 2006.
- Romero Hernan et al. Irradiancia solar en territorios de la republica de Chile: Santiago. 2008.

WEBGRAFIA

- www.acee.cl
- www.chile.embassy.gov.au
- www.corfo.cl
- www.euser.cl
- www.earthtechling.com/2012/04/sunpowers-record-breaking-cell-in-production
(Nuevas Placas solares).
- www.mma.gob.cl/
- www.minenergia.gob.cl
- www.puntosolar.cl
- www.Sodimac.cl

ANEXO 1. PLANOS ESTRUCTURA SOPORTE PARA PANELES SOLARES.

- Plano 05-01-01 “CONJUNTO SOPORTE PANELES SOLARES”.
- Plano 05-01-02 “EXPLOSION SOPORTE PANELES SOLARES”.
- Plano 05-01-03 “PERFIL VERTICAL IZQ ANGULO”.
- Plano 05-01-04 “ANGULO SOPORTE”.
- Plano 05-01-05 “PERFIL DIAGONAL IZQUIERDO COSTANERA”.