



**UNIVERSIDAD MAYOR
FACULTAD DE INGENIERIA**

**“DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA UNA VIVIENDA”**

**Proyecto de Licenciatura para Optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Ingeniería**

**ANDRES EDUARDO PEREZ AVILES
SANTIAGO DE CHILE
MAYO-2012**



**UNIVERSIDAD MAYOR
FACULTAD DE INGENIERIA**

**“DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA UNA VIVIENDA”**

**Proyecto de Licenciatura para Optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Ingeniería**

**Alumno: Andrés Eduardo Pérez Avilés
Profesor Guía: Sergio Durán O.
Ingeniero Civil Electricista**

**SANTIAGO DE CHILE
MAYO-2012**

AGRADECIMIENTOS

En estas instancias quisiera agradecer a todas las personas que, de alguna u otra forma, me apoyaron en la decisión de realizar este proyecto y colaboraron durante el desarrollo de este. En particular, mis agradecimientos a:

Los profesores de mi carrera y de la facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor, que me otorgaron el conocimiento necesario, y algunos que me influenciaron positivamente, para el desarrollo de mi carrera profesional.

Al Decano de la Facultad de Ingeniería, Sr. Roberto Acevedo y al Jefe de la Carrera Sr. Benjamín Jacard, por facilitarme las cosas cuando lo necesité en cuanto a asuntos laborales y problemas surgidos durante el desarrollo del proyecto.

A mi profesor guía, Sr. Sergio Durán, quien fue un apoyo fundamental gracias a sus conocimientos en la teoría y en el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Gracias por su involucramiento para orientarme y ayudarme durante el proceso de desarrollo del presente proyecto de título y por su aporte en el trabajo realizado.

Al profesor Sr. Jorge Medel por su apoyo y colaboración durante la primera parte de este proyecto.

A mis padres Noel y Yolanda, por su esfuerzo, apoyo y paciencia durante todos estos años de formación académica y por el amor y sacrificio que me han entregado durante mi crecimiento como persona priorizando siempre mis necesidades dentro de sus quehaceres.

Finalmente quisiera agradecer a mi pareja Jessica Sierra por el amor entregado, su apoyo incondicional, la paciencia que ha tenido y por todo lo que ha hecho de corazón para ayudarme cuando más lo he necesitado.

INDICE

CAPITULO I	INTRODUCCION	4
CAPITULO II	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ACTUALES	6
2.1	INTRODUCCION	6
2.2	CELDA Y PANELES FOTOVOLTAICOS	8
2.2.1	Irradiancia e Insolación	8
2.2.2	Celdas Fotovoltaicas	9
2.2.3	Principales tipos de Celdas Fotovoltaicas	11
2.2.4	Paneles Fotovoltaicos	13
2.2.5	Potencia de salida	14
2.2.6	Curvas I-V	14
2.2.7	Potencia Máxima de Salida	16
2.3	BATERIAS SOLARES	17
2.3.1	Características de las Baterías Solares	18
2.3.2	Modelos de Baterías Solares	19
2.3.3	Energía almacenada y autodescarga	19
2.3.4	Otros tipos de Baterías Solares	20
2.4	CONTROLADOR DE CARGA	21
2.4.1	Definición	21
2.4.2	Funciones de los Controladores de Carga	22
2.4.3	Funcionamiento	22
2.5	INVERSOR	24
2.5.1	Definición	24
2.5.2	Tipos de Inversores	25
2.5.3	Especificaciones de un inversor	27
2.5.4	Eficiencia de un inversor	28
CAPITULO III	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO REQUERIDO PARA CUBRIR LA DEMANDA DE LA VIVIENDA	29
4.1	OBJETIVO	29
4.2	NIVELES DE INSOLACION EN CHILE	30
4.3	VALORES DIARIOS DE LOS PROMEDIOS MENSUALES DE INSOLACIÓN PARA SANTIAGO.	31
4.4	SISTEMA FOTOVOLTAICO TEORICO A UTILIZAR	33

4.5	BALANCE ENERGETICO	43
4.6	DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA	48
4.6.1	Paneles Fotovoltaicos	48
4.6.1.1	Programa utilizado para el diseño de la planta fotovoltaica	48
4.6.2	Sistema de Baterías	52
4.6.3	Controlador de Carga	55
4.6.4	Inversor	56
4.6.5	Otros componentes	56
4.6.6	Sistema completo y costos asociados	56
CAPITULO IV CONCLUSIONES		60
BIBLIOGRAFIA		62

INDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1	OBTENCION Y USO DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA	8
FIGURA Nº 2	EFECTO FOTOELECTRICO	10
FIGURA Nº 3	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA SOLAR	11
FIGURA Nº 4	CELDA SOLAR MONOCRISTALINA	12
FIGURA Nº 5	CELDA SOLAR POLICRISTALINA	13
FIGURA Nº 6	PANEL MONOCRISTALINO (IZQ.) Y PANEL POLICRISTALINO (DER.)	14
FIGURA Nº 7	MASA DE AIRE	17
FIGURA Nº 8	CONTROLADOR DE CARGA MARCA "PHOCOS"	24
FIGURA Nº 9	INVERSOR DE 1500W DE POTENCIA DE SALIDA	25
FIGURA Nº 10	DECLINACION	36
FIGURA Nº 11	SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA GRILLA	41
FIGURA Nº 12	SISTEMA FOTOVOLTAICO FUERA DE LA GRILLA	42
FIGURA Nº 13	MODELO DE BOMBEO DE AGUA	43
FIGURA Nº 14	ESQUEMA DEL BALANCE ENERGETICO	46
FIGURA Nº 15	MATRIZ DE CALCULO DE LOS RESULTADOS FINALES	49
FIGURA Nº 16	PARAMETROS Y VARIABLES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA FV	50
FIGURA Nº 17	DIMENSIONAMIENTO DE PANELES FV SEGÚN RETSCREEN	52
FIGURA Nº 18	CAPACIDAD NOMINAL DE LAS BATERIAS SEGÚN DIAS DE AUTONOMIA	53
FIGURA Nº 19	ALTERNATIVAS PARA EL BANCO DE BATERIAS	55
FIGURA Nº 20	SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLETO DIMENSIONADO PARA LA VIVIENDA	58

INDICE DE TABLAS

TABLA Nº 1 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SEGÚN TEMPERATURA DE OPERACION	20
TABLA Nº 2 INSOLACION DIARIA PROMEDIO POR MES PARA SANTIAGO	32
TABLA Nº 3 ENERGIA CONSUMIDA SEGÚN CHILECTRA DURANTE EL AÑO	45
TABLA Nº 4 DISTRIBUCION MENSUAL DE LA ENERGIA SEGUN CONSUMOS ANUALES	57

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO Nº 1 EJEMPLO DE INSOLACION DE 6 HSP	9
GRAFICO Nº 2 CURVA I-V DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA	15
GRAFICO Nº 3 FORMA DE ONDA CUADRADA	26
GRAFICO Nº 4 FORMA DE ONDA SINUSOIDAL MODIFICADA	26
GRAFICO Nº 5 FORMA DE ONDA CUASI-SINUSOIDAL	27
GRAFICO Nº 6 INSOLACION DIARIA PROMEDIO POR MES PARA SANTIAGO	32

SOLO USO ACADÉMICO

RESUMEN

El proyecto de licenciatura “Dimensionamiento y Diseño de un Sistema Fotovoltaico para una Vivienda” está orientado a diseñar un sistema fotovoltaico adecuado para una vivienda común, en relación a su consumo energético mensual.

El proyecto se desarrolla en tres capítulos que incluyen una introducción a los sistemas fotovoltaicos y el diseño de la planta solar a través de programas de alta precisión y finalmente las conclusiones.

Sin duda el diseño de la planta fotovoltaica a partir de los requerimientos del consumo eléctrico requerido por la vivienda de acuerdo a las mediciones realizadas por Chilectra, así como las mediciones realizadas en relación a los consumos de los distintos tipos de dispositivos, permiten sensibilizar las diferentes variables del programa utilizado, teniendo como base la insolación del lugar, sus condiciones de vientos y las energías y potencias requeridas durante todo el año.

Se finaliza con las conclusiones donde se resaltan aquellos aspectos más importantes de la tesis, principalmente el balance de la energía en relación al diseño de la planta fotovoltaica.

ABSTRACT

The Project "Sizing and Design of Solar Energy System for a House" is aimed to design a photovoltaic system suitable for a common house, in relation to the study and measurement of its monthly energy consumption.

The project has three chapters, that includes an introduction to photovoltaic systems and the solar plant was designed through high precision softwares.

Without any doubt the design of PV systems from the requirements of the power consumption required in the house according to the measurements realized by Chilectra, as well as the measures taken in relation to the consumption of different types of devices, allows to tune different program variables used, based in the insolation of the place, wind conditions and in the power and energy required during the year.

Finally in the conclusions are highlight the most important aspects of the project, especially the balance of power in relation to the design of the photovoltaic plant.

CAPITULO I

INTRODUCCION

ANTECEDENTES GENERALES

Actualmente, gracias al fomento de la utilización de energías alternativas se están ofreciendo en el mercado sistemas de energía eólica y solar para utilización doméstica cada vez a un menor costo, lo que permite que estén al alcance de más personas. En el contexto del uso doméstico, estos sistemas están orientados a casas de bajo consumo de energía eléctrica (del orden de los 1000W o menos), es decir, que tienen una mínima cantidad de aparatos que consumen energía eléctrica, como por ejemplo casas de campo o de veraneo (6 ampolletas, 1 televisor, 1 refrigerador). Si bien es posible obtener y acumular más energía mediante la adición de paneles solares y baterías, según se estime conveniente, la orientación sigue siendo para casas de bajo consumo. Esto se debe fundamentalmente a que componentes principales como el Inversor de voltaje poseen la limitante de la potencia de salida, que en los sistemas que se encuentran para este mercado no sobrepasan los 1500W ó 2000W peak y los que superan este nivel sus precios se elevan significativamente, sin dejar de mencionar además los costos adicionales de los paneles solares, bancos de baterías, etc. Por lo tanto, es posible almacenar gran cantidad de energía según el número de paneles y baterías que se disponga, pero no así obtener la potencia de salida necesaria cuando se requiera (múltiples artefactos encendidos a la vez) sin elevar el costo de la inversión, lo que hace que estos sistemas no se masifiquen para el consumo del hogar común.

OBJETIVOS

Objetivo general del proyecto

Diseño de una planta fotovoltaica para suministrar energía eléctrica para los consumos de una casa común de cinco habitantes.

Objetivos específicos del proyecto

- Realizar un balance de energía entre los consumos eléctricos de un hogar de cinco habitaciones y la energía eléctrica suministrada por una planta fotovoltaica.
- Diseño detallado de una planta fotovoltaica para suministrar los consumos eléctricos requeridos por un hogar de consumos promedios, en relación a sus potencias máximas en cada uno de los doce meses del año.

El proyecto se desarrolla fundamentalmente dos capítulos, que permiten disponer de los elementos necesarios para el diseño de una planta fotovoltaica básica destinada a entregar energía eléctrica a una vivienda durante parte del año.

El diseño ha considerado, siendo un prototipo, garantizar la energía eléctrica durante las veinticuatro horas en el mes de mayor insolación, en este caso para Santiago en el mes de Enero.

En el capítulo dos se describen los elementos principales que constituyen una planta fotovoltaica, para así disponer de los conocimientos requeridos para la etapa del diseño.

El diseño de la planta fotovoltaica es el núcleo del y se realiza en el capítulo tres.

CAPITULO II

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ACTUALES

2.1 INTRODUCCION

El sol ha brillado en el cielo desde hace unos 5 mil millones de años y se calcula que aún no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Ha sido siempre fuente de vida desde los inicios de la existencia del hombre, puede satisfacer todas nuestras necesidades. Cada año el sol arroja sobre la tierra alrededor de 4 mil veces más energía de la que vamos a consumir.

¿Cómo podemos utilizar esta energía proveniente del sol?

De acuerdo a las tecnologías existentes actualmente, la radiación solar la podemos recoger en dos formas de energía: Energía Calórica y Energía Eléctrica. Para el caso de los sistemas solares térmicos, el calor que se obtiene mediante colectores puede ser aprovechado para calentar agua para consumo doméstico o industrial, para otorgar calefacción o climatizar piscinas. Además se están desarrollando otras aplicaciones de tipo agrícola, como invernaderos o secadores y refrigeración que utiliza el calor obtenido. Todo esto según la disponibilidad calórica que se tenga.

Para el caso de la energía eléctrica, esta es obtenida a partir de la radiación solar captada mediante células solares o celdas fotovoltaicas que conforman paneles. Luego esta energía, convertida en electricidad, puede ser aprovechada para consumo doméstico o industrial. El problema radica en que muchos de los aparatos utilizados o la suma de ellos requieren de gran cantidad de energía eléctrica que en la mayoría de los casos no es posible abarcar con un sistema fotovoltaico, esto debido a la combinación de diversos factores: costo de los equipos, potencia eléctrica máxima limitada, dificultad de combinar distintas fuentes de energía

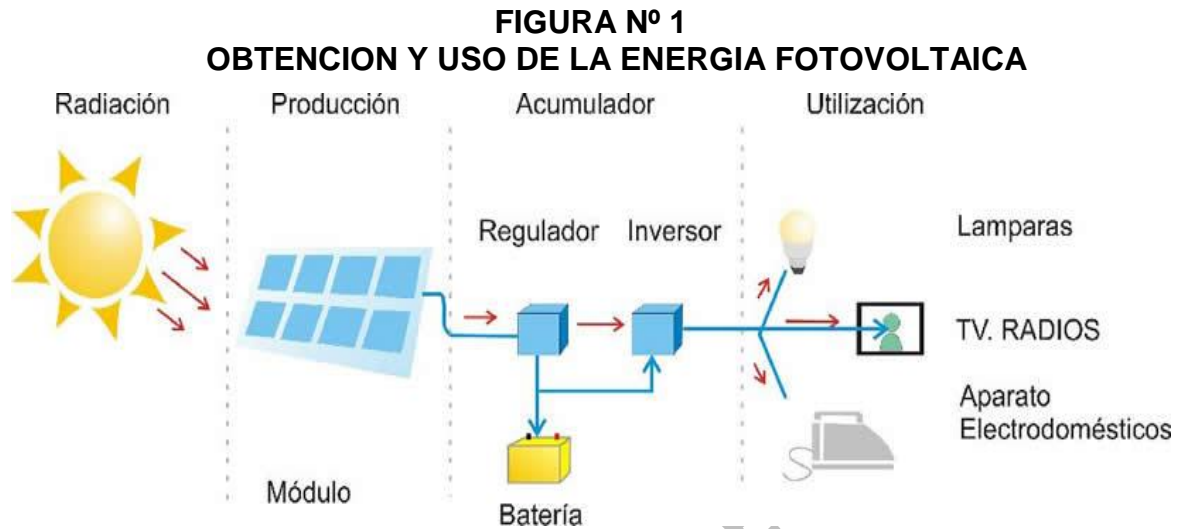
eléctrica, etc. Todo lo cual forma parte del análisis de este proyecto que se dará a conocer en los capítulos siguientes.

Principales elementos de un Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico convencional está compuesto de distintos equipos que tienen la función de convertir la energía térmica captada por las células fotovoltaicas en energía eléctrica con las características que se requieren para su consumo. En el caso de Chile (y muchos otros países) es un voltaje alterno de 220Vrms a 50Hz. Los equipos o elementos utilizados en una instalación estándar son los siguientes:

- Celdas Fotovoltaicas: Unidad mínima encargada de convertir la radiación solar en energía eléctrica.
- Panel Solar: Arreglo de Celdas Fotovoltaicas, cuya capacidad para aprovechar la radiación dependerá del número de celdas que tenga.
- Batería Solar o de Ciclo Profundo: Batería o conjunto de baterías en donde es acumulada la energía eléctrica proveniente de los paneles solares. Estas baterías están diseñadas para soportar varios ciclos de carga y descarga a un ritmo constante para alimentar la carga.
- Regulador o Controlador de carga: Dispositivo electrónico encargado de controlar la energía eléctrica para cargar la batería de acuerdo a los requisitos de esta, suprimir la carga de la misma al estar completa, permitir el paso de la energía acumulada hacia los dispositivos a alimentar, suprimir el envío de energía cuando la batería alcanza niveles críticos.
- Inversor de corriente: Dispositivo electrónico que modula la forma de onda de la señal de voltaje proveniente de las baterías (12V o 24V continuos)

convirtiéndolas en los 220V alternos a 50Hz para el consumo final de los dispositivos a alimentar, electrodomésticos, etc.



Fuente: Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR) (2007). <http://www.censolar.es/>

En la siguiente sección se detallan los tipos y características de cada uno de los equipos mencionados.

2.2 CELDAS Y PANELES FOTOVOLTAICOS

2.2.1 Irradiancia e Insolación

La energía solar disponible en un punto o lugar específico es posible cuantificarla en términos de Irradiancia e Insolación. La irradiancia corresponde a la intensidad de la potencia solar medida en watts (o kilowatts) por metro cuadrado (potencia por unidad de superficie). Cuando una superficie captadora de energía solar está orientada directamente al sol sin obstáculos, puede recibir el máximo valor de irradiancia que está entre 1 y 1,2 KW/m² alrededor del mediodía.

Por otro lado, la insolación corresponde a la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie durante un intervalo de tiempo y se mide en kilowatt-hora por metro cuadrado (KW-h/m²), es decir, energía por unidad de superficie. Este dato es fundamental para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, pues es necesario conocer la “insolación diaria promedio” de cada mes del año del lugar en donde estará emplazado el sistema fotovoltaico. La insolación diaria promedio se expresa comúnmente en “Hora Solar Peak” o HSP, que corresponde a la energía solar recibida durante una hora a un nivel de irradiancia de 1 KW/m². La insolación diaria promedio varía entre 3 y 7 HSP dependiendo del lugar y la época del año, es decir, se tienen entre 3 y 7 horas en las que se recibe en promedio 1 KW/m².

**GRAFICO N° 1
EJEMPLO DE INSOLACION DE 6 HSP**



Fuente: Propia de la tesis

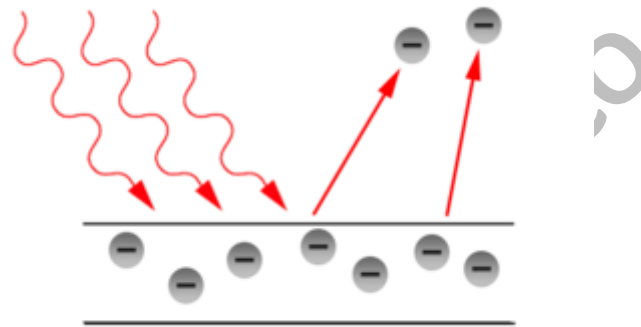
2.2.2 Celdas Fotovoltaicas

La celda fotovoltaica es la unidad mínima que es capaz de convertir energía luminosa en energía eléctrica.

El Efecto Fotoeléctrico en la Celda Fotovoltaica

El principio de funcionamiento se basa en el Efecto Fotoeléctrico que consiste en que cuando un material semiconductor es bombardeado por fotones, debido a la incidencia de la luz solar, se liberan electrones que se encuentran en el material haciendo que estos sean desplazados de su lugar.

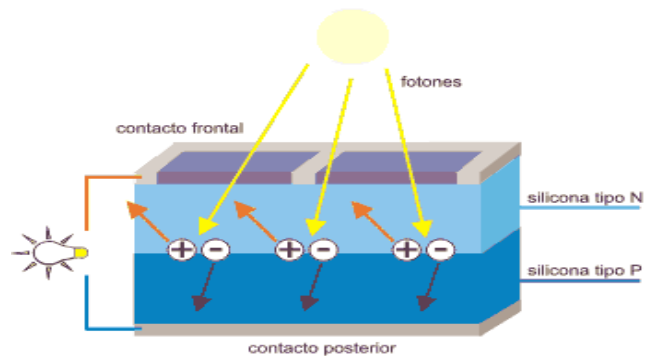
FIGURA Nº 2
EFFECTO FOTOELECTRICO



Fuente: Photoelectric Effect – Wikipedia (2011). <http://en.wikipedia.org>

La Celda Fotovoltaica está fabricada generalmente de Selenio dopado, es decir, se le añadieron impurezas o bien implantaron iones para producir material de tipo N por un lado y P por el otro. Estas zonas están separadas por una juntura. La zona de tipo N tiene una alta concentración de electrones libres y pocos huecos por lo que es capaz de ceder electrones y la zona de tipo P, a la inversa, puede atrapar electrones. Entonces al incidir la luz solar sobre la superficie de la celda, los electrones libres de la zona N escapan a la zona P provocando una diferencia de potencial entre las zonas N y P.

FIGURA N° 3
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA SOLAR



Fuente: Energía Solar (2006). <http://www.instalacionenergiasolar.com>

El voltaje de salida obtenido entre estos puntos es alrededor de 0,5Vcc por celda. La potencia de salida está dada por el producto del voltaje de salida y de la corriente que la celda es capaz de entregar. Este valor es afectado principalmente por el nivel de la radiación luminosa y por el método de fabricación de la celda.

2.2.3 Principales tipos de Celdas Fotovoltaicas

Actualmente en el mercado existen dos tipos de celdas cuyas características dependen del proceso de fabricación: Celdas de material Monocristalino y Celdas de material Policristalino.

Celdas Monocristalinas

Tiene una estructura de cristales uniforme, requiere de un elaborado proceso de fabricación que consume grandes cantidades de energía lo cual encarece el costo del material semiconductor. Este tipo de celda se puede identificar a simple vista por su superficie de brillo uniforme.

FIGURA N° 4 CELDA SOLAR MONOCRISTALINA



Fuente: Del Sol Energía. <http://www.delsolenergia.es>

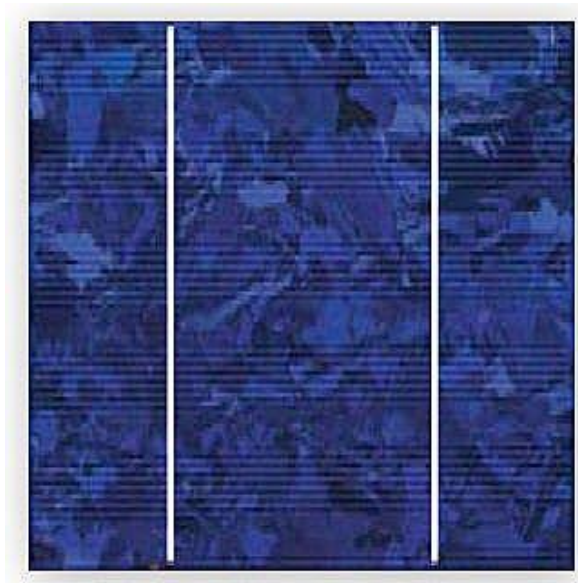
Este tipo de celda es la más eficiente, alcanzando un rendimiento de entre un 15% y un 17%, este rendimiento se obtiene como el cociente entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa que incide sobre su superficie:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía Incidente}} \times 100$$

Celdas Policristalinas

Se obtiene fundiendo el material semiconductor para ser vertido en moldes rectangulares. Producto de este proceso se obtienen imperfecciones que dan origen a estructura cristalina no uniforme, haciendo que disminuyan el número de pares de carga que quedan libres para conducir la corriente. Su rendimiento es un poco inferior a la de las celdas monocristalinas (entre 13% y 15%), a su vez el costo es menor. Se pueden distinguir a simple vista por su superficie con brillo irregular.

FIGURA N° 5
CELDA SOLAR POLICRISTALINA



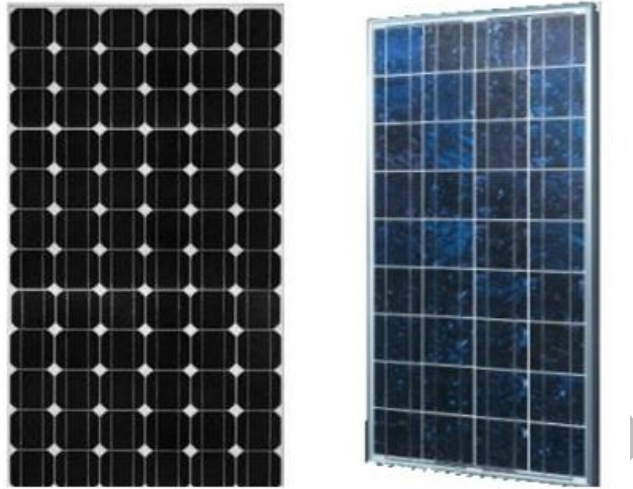
Fuente: Del Sol Energía. <http://www.delsolenergia.es>

Existen además otros tipos de celdas como son las de estructura amorfa (utilizadas en calculadoras solares, por ejemplo), que no se abordarán puesto que su rendimiento es mucho menor (6%-8%) y su uso no es especificado para los proyectos de energía fotovoltaica de consumo para equipos domésticos o industriales.

2.2.4 Paneles Fotovoltaicos

Como se mencionó anteriormente, cada celda es capaz de otorgar un voltaje máximo de salida de 0,5V en c.c. Los sistemas fotovoltaicos en su mayoría contemplan baterías de 12V c.c. por lo mismo se hace necesario conectar las celdas en serie para obtener los 12V y en paralelo para aumentar la corriente de las mismas (cada celda es capaz de entregar una corriente de 3,5A). Este arreglo de celdas sostenido por una estructura de aluminio es lo que se denomina Panel Solar, que a su vez puede ser monocristalino o policristalino dependiendo del tipo de celdas fotovoltaicas que lo componen.

FIGURA N° 6
PANEL MONOCRISTALINO (IZQ.) Y PANEL POLICRISTALINO (DER.)



Fuente: Solar Home (2010). <http://www.solarhome.org>

Los fabricantes conscientes del tipo de celda y el voltaje exacto otorgado por estas, definen la cantidad mínima de celdas a utilizar por cada panel para asegurar una carga efectiva del banco de baterías.

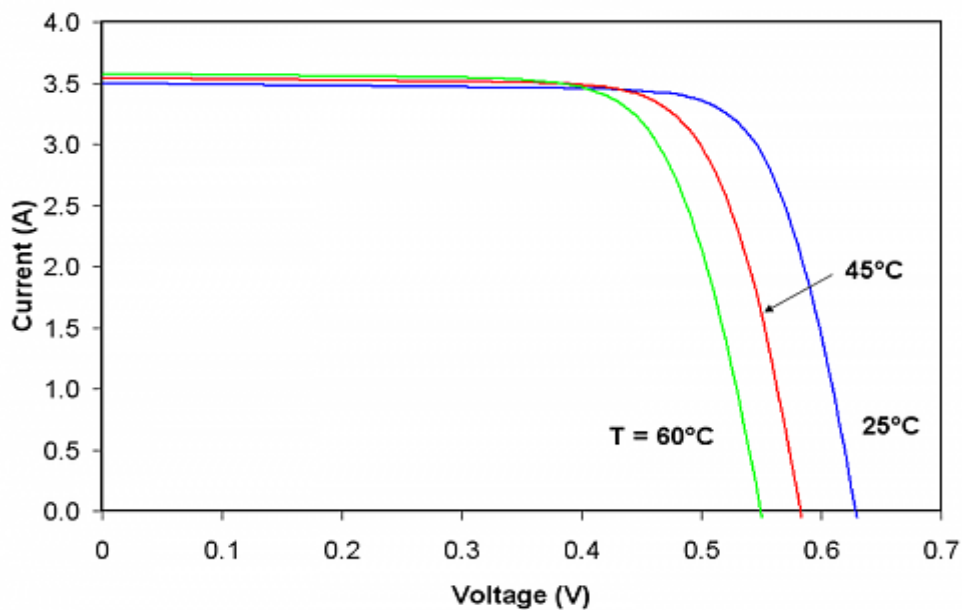
2.2.5 Potencia de salida

Una de las características fundamentales a la hora de escoger un panel solar y evaluarlo para la realización de un proyecto es su potencia de salida. Para proyectos de energización de viviendas es conveniente utilizar paneles superiores a 30 Watts. En el mercado actual existen paneles capaces de entregar hasta 200W o más. Potencias menores a 30W son útiles para alimentar pequeños dispositivos o para realizar estudios.

2.2.6 Curvas I-V

Considerando valores de potencia luminosa y orientación de panel constante, la corriente de salida de un panel fotovoltaico varía con el valor del voltaje en la carga y con su temperatura de trabajo. Esta es una característica intrínseca de los materiales semiconductores. Los valores mencionados son siempre dados por un gráfico de curvas I-V de cada panel en donde se aprecia la variación de la corriente indicada en el eje Y según el voltaje de la carga que se indica en el eje X, además se tienen trazos de estos valores según las temperaturas de trabajo que se indiquen. Un ejemplo de un gráfico I-V para una celda fotovoltaica específica se muestra a continuación:

GRAFICO Nº 2
CURVA I-V DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA



Fuente: Información acerca de paneles solares (2010). <http://www.paneles-solares-informacion.com>

Se observa que el valor de máxima corriente se encuentra cuando el voltaje es cero, es decir, corriente de cortocircuito. En tanto, el voltaje máximo se observa cuando el valor de la corriente es nulo, es decir, voltaje a circuito abierto.

También se observa que a mayor temperatura de trabajo la corriente de cortocircuito es mayor y el voltaje a circuito abierto es menor. Y a menor temperatura de trabajo la corriente de cortocircuito es menor mientras que el voltaje a circuito abierto es mayor.

2.2.7 Potencia Máxima de Salida

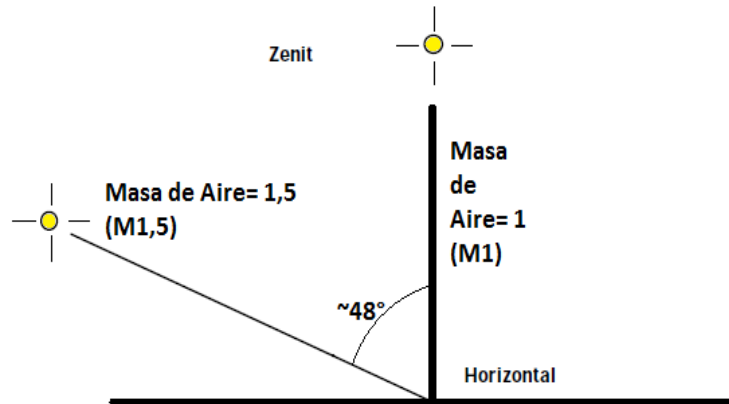
Dado que la potencia es nula en los puntos de trabajo de corriente de cortocircuito y voltaje de circuito abierto, se tiene una zona de trabajo en la que es posible obtener el valor máximo de potencia del panel o valor peak (W_p). Los valores de corriente y voltaje para este máximo (I_p y V_p) son otorgados en la hoja de especificaciones técnicas de cada panel.

Este valor se considera a una temperatura de trabajo de 25°C , una potencia luminosa por unidad de superficie de 1 KW/m^2 y espectro luminoso correspondiente a una Masa de Aire de $M_{1,5}$.

Masa de Aire:

La intensidad y frecuencia del espectro luminoso que recibimos del sol se ve modificada por la absorción, reflexión y dispersión de los rayos solares debido a la atmosfera. Cuando la radiación solar atraviesa una distancia mínima a través de la atmosfera, es decir el zenit, la masa de aire asignada a esta posición es M_1 . Lo anterior se puede observar en la siguiente imagen:

**FIGURA N° 7
MASA DE AIRE**



Fuente: Cota, Alma y Ellis, Abraham (2000). "Energía Fotovoltaica en la Educación a Distancia". Southwest Technology Development Institute (SWTDI). Albuquerque, Nuevo México. Estados Unidos.

2.3 BATERIAS SOLARES

Una vez realizada la conversión de energía lumínica a energía eléctrica es necesario almacenarla. Para ello se tienen variadas alternativas en el mercado, como lo son las baterías de plomo-ácido (Pb-Ácido) que utilizan los automóviles o bien las llamadas Baterías Solares o Baterías para sistemas fotovoltaicos, también de Pb-Ácido.

¿Qué diferencia existe en el uso de una u otra?

La batería para automóviles está hecha de modo que permite otorgar una gran cantidad de corriente (200A – 300A) en un momento dado como es el caso de la partida del motor, para luego ser cargada mediante el alternador y permanecer inactiva. En cambio la batería solar está hecha para otorgar un flujo de corriente moderada durante horas y a su vez es recargada mediante los paneles solares. Este tipo de baterías permanece la mayor parte del tiempo activa sin recibir carga, por ejemplo su utilización nocturna, para en el día estar en un constante proceso de

carga. Dadas estas características se convierte en la solución adecuada para un sistema fotovoltaico.

2.3.1 Características de las Baterías Solares

Composición

Las baterías solares poseen en sus electrodos una aleación de antimonio, este permite adherir una mayor cantidad de material activo que tiene como consecuencia una mayor vida útil, esto debido a que ante cada descarga las baterías van perdiendo material activo lo que provoca su envejecimiento, por lo tanto a mayor cantidad de material activo mayor durabilidad y profundidad de descarga. Esto último hace que el precio de una batería solar sea más elevado que el de una batería de automóvil.

Profundidad de descarga

Como se mencionó en el párrafo anterior, estas baterías poseen una mayor profundidad de descarga a diferencia con las demás baterías. Las baterías de automóvil están hechas para soportar niveles menores de profundidad de descarga, a modo de ilustración, una batería de automóvil alcanza un nivel de profundidad de descarga de entre 0,3% y 0,4% en el arranque para luego ser cargada. En cambio las baterías solares pueden alcanzar un nivel de descarga del 80% antes de ser cargada nuevamente. Este ciclo de carga y descarga puede ser repetido cientos de veces a niveles de corriente moderados. Es por esta razón que las baterías solares son también llamadas Baterías de Ciclo Profundo. Se considera que una batería ha alcanzado su número máximo de ciclos de carga y descarga cuando esta es capaz de almacenar hasta un 80% de la energía especificada para la batería.

Las baterías que se ofrecen actualmente en el mercado son capaces de cumplir alrededor de 2000 – 3000 ciclos de carga-descarga. Si cada ciclo durara alrededor de un día se tendría que su durabilidad es de 5 a 8 años.

2.3.2 Modelos de Baterías Solares

Los modelos más comunes de baterías solares que se presentan en el mercado son de 6V, 12V y 24V y capacidades comprendidas entre los 10Ah y los 200Ah. Cabe decir que la capacidad en Amperes-hora dice relación con la capacidad de la batería de mantener una cantidad de corriente en un lapso de tiempo. Para los sistemas fotovoltaicos se considera generalmente un tiempo de 20hrs, con lo cual se tiene que una batería de 200Ah es capaz de entregar 10A durante 20hrs.

Para un sistema de mediana capacidad de reserva se considera que una batería de 6V y 200Ah es lo bastante equilibrada en cuanto a capacidad y peso, esta puede pasar a formar parte de un banco de baterías conectándolo en serie o en paralelo según los requerimientos de voltaje o corriente del sistema.

Cabe destacar que la eficiencia de las baterías está ya considerada en la indicación de Ah otorgada por el fabricante mediante pruebas de descarga continua.

2.3.3 Energía almacenada y autodescarga

La capacidad de almacenamiento de una batería varía con la temperatura ambiente a la que se encuentra el electrolito, tal como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA Nº 1
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SEGÚN TEMPERATURA DE OPERACION

Temperatura (C°)	Capacidad (%)
30	105
25	100
16	90
4	77
-7	63
-18	49

Fuente: Cota, Alma y Ellis, Abraham (2000). "Energía Fotovoltaica en la Educación a Distancia". Southwest Technology Development Institute (SWTDI). Albuquerque, Nuevo México. Estados Unidos.

Se considera óptimo mantener la batería lo más cercana a una temperatura de 25°C para lograr un equilibrio entre vida útil y rendimiento, puesto que como se aprecia en la tabla, una temperatura superior permite un rendimiento mayor al especificado pero su vida útil se ve mermada fuertemente.

Por otro lado, se debe tener presente siempre que toda batería solar de Pb-Acido sin utilizar durante un cierto periodo de tiempo presenta una disminución en su nivel de carga. Esta autodescarga varía también dependiendo de la temperatura. Así, para el caso de las baterías solares de Pb-Acido se tiene que al exponerse a una temperatura de 50°C se descargará un 25% semanal. A temperatura ambiente cercana a 25°C se reduce a un 6% semanal por lo que es recomendable su recarga frecuente.

2.3.4 Otros tipos de Baterías Solares

Baterías de Gel (VRLA)

Es un tipo de batería solar en donde el electrolito no es líquido sino gelatinoso. Al ser totalmente hermética, al evitar derrames y no requerir mantenimiento se convierte en la solución ideal para embarcaciones, letreros publicitarios, iluminación pública, dispositivos portátiles u otros lugares donde la supervisión es infrecuente. Su autodescarga semanal es de alrededor de un 1,1% a 25°C. La principal desventaja es que su costo es el triple que las baterías con electrolito líquido.

Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Este tipo de batería de ciclo profundo tiene un costo inicial alto (6 a 8 veces el de una batería de Pb-ácido). Sin embargo, su costo operacional a largo plazo es mucho menor, puesto que tiene como característica una larga vida útil y bajo mantenimiento. Su principal desventaja radica en que si bien su voltaje de salida permanece invariable, gracias a su resistencia interna 10 veces menor que la de una batería de Pb-ácido, en el momento en que su capacidad de almacenamiento de energía se ve agotada dicho voltaje cae vertiginosamente sin dar aviso previo, como lo hacen las baterías de Pb-ácido que aumentan su resistencia interna provocando una baja de voltaje de salida que sirve para indicar que la vida útil de la batería esta cerca del final. Para estas baterías de Ni-Cd se requieren de instrumentos de medición de voltaje muy sensibles para medir y poder detectar el fin de su vida útil.

2.4 CONTROLADOR DE CARGA

2.4.1 Definición

El Controlador de Carga es uno de los componentes más esenciales de un sistema fotovoltaico. Es un dispositivo electrónico encargado de permitir la cantidad de corriente y el nivel de voltaje necesario proveniente desde los paneles para la carga de las baterías. También evitan que las baterías se descarguen a través de la carga que se está alimentando, cuando su nivel de carga es más bajo que el especificado por el fabricante para así protegerla y alargar su vida útil. Estos controles además

poseen generalmente leds indicadores para monitorear el funcionamiento del sistema.

2.4.2 Funciones de los Controladores de Carga

Existen principalmente dos tipos de control de carga: el regulador de carga y el controlador de descarga. Es posible encontrar en el mercado ambos dispositivos por separado o todo incluido en un mismo equipo, denominados Regulador con control de carga o Regulador con LVD (Desconexión a Bajo Voltaje).

El regulador de carga

La función del regulador de carga es otorgar el nivel de voltaje y corriente preciso para el tipo de baterías a cargar, además debe ser capaz de evitar su sobrecarga cuando las baterías estén al máximo nivel, esto implica una desconexión mediante relés entre la fuente (panel FV) y las baterías.

El control de descarga

El objetivo del control de descarga es evitar que las baterías se descarguen totalmente o a un nivel más bajo que el especificado por el fabricante. Esto se logra mediante la desconexión entre la carga a alimentar y la batería cuando se detecta un voltaje que indica que se está llegando a un nivel de descarga del 80% generalmente (profundidad de descarga).

2.4.3 Funcionamiento

Como se mencionó anteriormente se tienen dos tipos de funciones generales en un control de carga, que pueden ser en un mismo dispositivo o dispositivos separados. Se debe tener en consideración la capacidad del dispositivo para manejar las corrientes provenientes del panel FV y que a su vez sea capaz de manejar las

corrientes que la carga a alimentar exige, por lo mismo es importante saber de antemano la potencia a consumir de la carga y considerar siempre una holgura para momentos de mayor exigencia, como por ejemplo el encendido de un televisor. Se considera como regla general un 50% más de la corriente máxima a consumir. Además se debe tomar en cuenta el consumo del mismo dispositivo que suele ser de 0,2A.

El método de regulación de carga más común es el de conexión-desconexión, que consiste en la desconexión de las baterías cuando se alcanza cierto nivel de voltaje en estas, aproximadamente 14,3V para baterías de 12V y una reconexión cuando se llega a los 13,5V. La mayoría de los dispositivos realizan esta función mediante PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

El método de control de descarga

Tal como se indicó, el objetivo es evitar que la batería se sobredescargue y llegue a niveles superiores al 80% de descarga. Lo anterior se detecta por una baja en el nivel de voltaje que está entregando la batería. Este nivel de voltaje para una batería de 12V puede ser alrededor de 11,3-11,5V, lo que se conoce como Desconexión por Bajo Voltaje o LVD en inglés. Es importante mencionar que esta profundidad de descarga es un nivel máximo permitido para conservar la vida útil de la batería, pero es ideal que se llegue a este punto las menos veces posibles en el año.

FIGURA N° 8
CONTROLADOR DE CARGA MARCA “PHOCOS”



Fuente: Phocos AG. <http://www.phocos.com>

2.5 INVERSOR

2.5.1 Definición

Un inversor es un dispositivo electrónico capaz de transformar la señal proveniente en corriente continua (c.c.) a corriente alterna (c.a.). El uso de un inversor es fundamental en un sistema de energía FV, ya que toda la energía eléctrica que se maneja desde los paneles FV, el regulador de carga y las baterías es de corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos y aparatos electrónicos de consumo utilizan corriente alterna, 220V a 50Hz para el caso de Chile y muchos otros países.

FIGURA N° 9
INVERSOR DE 1500W DE POTENCIA DE SALIDA



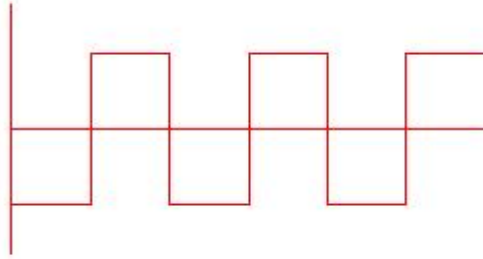
Fuente: Power Inverters. <http://www.dcacpowerinverters.com>

2.5.2 Tipos de Inversores

Existen en el mercado tres tipos de inversores, clasificados según la forma de onda de la señal alterna que proveen. Estos son: inversores de onda cuadrada, inversores de onda sinusoidal modificada e inversores de onda cuasi-sinusoidal.

Los inversores de onda cuadrada, tal como lo indica su nombre, produce una señal alterna cuadrada a partir de la alimentación continua. Es el tipo más económico pero no es recomendable ya que una señal de voltaje cuadrada contiene muchos armónicos que pueden perjudicar los aparatos electrónicos.

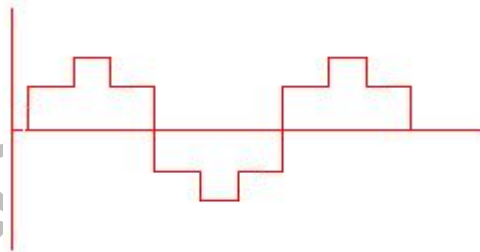
GRAFICO Nº 3 FORMA DE ONDA CUADRADA



Fuente: Curso Energía Solar Fotovoltaica: Convertidores. <http://www.mailxmail.com/curso-energia-solar-fotovoltaica>

Por otro lado los inversores de onda sinusoidal modificada, proporcionan una señal con menor cantidad de armónicos a partir de la alimentación c.c. Esta señal es apropiada para casi todos los aparatos eléctricos y electrónicos que se tiene en una vivienda común. Este tipo de inversor es el más recomendado ya que proporcionan una señal alterna de calidad a un precio razonable.

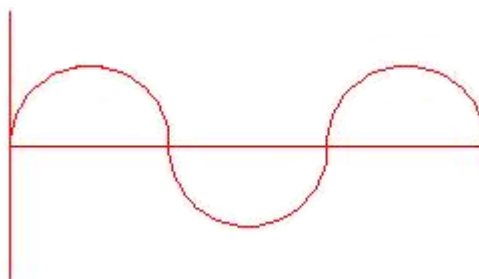
GRAFICO Nº 4 FORMA DE ONDA SINUSOIDAL MODIFICADA



Fuente: Curso Energía Solar Fotovoltaica: Convertidores. <http://www.mailxmail.com/curso-energia-solar-fotovoltaica>

Finalmente se tienen los inversores de onda cuasi-sinusoidal. Este tipo genera una señal sinusoidal casi perfecta pero su valor puede llegar a triplicar el de un inversor de onda cuadrada o sinusoidal modificada.

GRAFICO Nº 5 FORMA DE ONDA CUASI-SINUSOIDAL



Fuente: Curso Energía Solar Fotovoltaica: Convertidores. <http://www.mailxmail.com/curso-energia-solar-fotovoltaica>

2.5.3 Especificaciones de un inversor

Voltajes de entrada y salida

En primer lugar se tienen inversores para ser alimentados por un voltaje c.c. de 12V o 24V, esto según el voltaje de la batería o banco de baterías que posee el sistema FV. Por otro lado se tiene en la salida, como se mencionó anteriormente, un voltaje en c.a. de 220V a 50Hz (dependiendo del país, pueden ser también de 120V a 60Hz).

Potencia de salida

Una de las especificaciones más críticas en un inversor corresponde a la potencia de salida que es capaz de proveer. Esta potencia de salida por lo general se expresa en VA, que para el caso de alimentar aparatos electrónicos pueden corresponderse a Watts.

Generalmente se especifican dos valores de potencia para estos equipos, el primero es la potencia continua de salida, que corresponde a la potencia que es capaz de entregar de forma normal. El segundo valor de potencia es el valor de potencia de arranque o potencia "peak", que corresponde a la potencia máxima que el inversor

puede entregar en un momento dado. La importancia de este valor tiene que ver con que muchos de los aparatos electrónicos consumen en ciertos instantes más potencia de lo que se especifica, por ejemplo durante el arranque de un televisor de tubos, cuando un computador de escritorio se lo exige al máximo (juegos, copia de dvds, etc) o los autochequeos que realiza una impresora al arrancar. Esta mayor demanda debe durar solo cortos instantes de tiempo. Esta potencia peak de los inversores es de 2-3 veces la potencia nominal continua. Cuando esta capacidad es sobrepasada el inversor desconecta automáticamente las cargas para autoprotegerse.

2.5.4 Eficiencia de un inversor

La conversión que realiza el inversor de corriente continua a corriente alterna implica un consumo de energía que se disipa en forma de calor y energía reactiva , por lo mismo se observa que los inversores poseen su carcasa en forma de disipador puesto que a mayor potencia requerida mayor es la energía disipada. Es muy importante considerar este consumo dentro del sistema FV, ya que siempre la capacidad del sistema debe ser holgada respecto a las cargas a alimentar. Generalmente los inversores de hasta 1000VA tienen una eficiencia del 80-85% trabajando a plena carga, mientras que su consumo en modo "Stand-By" es de alrededor de 4-7W debido a leds u otras indicaciones del aparato.

CAPITULO III

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO REQUERIDO PARA CUBRIR LA DEMANDA DE LA VIVIENDA

3.1 OBJETIVO

El objetivo del presente capítulo es dimensionar el sistema fotovoltaico que necesita el hogar según los consumos medidos por Chilectra, que son los que reflejan realmente los consumos anuales. Las especificaciones se obtendrán a partir del nivel de radiación solar de la ciudad de Santiago de Chile en conjunto con las especificaciones de un Sistema Fotovoltaico que permita satisfacer la demanda de energía de la casa, utilizando los dispositivos existentes en el mercado internacional.

El diseño se realizará a partir del balance entre las energías consumidas y las energías solares generadas durante los 12 meses del año.

Consumo de energía de la vivienda por circuito:

- Circuito 1 (Living + Comedor + Baño)
 - Ampolletas de bajo consumo (20W)
 - Televisor LCD 32" (130W)
 - Aspiradora (1800W)
 - PC de escritorio (300W)
 - Hervidor eléctrico (2000W)
 - Equipo musical (30W)
 - Ampolleta de bajo consumo (20W)
 - Plancha (1500)
 - Lavadora (300W)
 - Secador de pelo (600W)
 - Secadora de ropa (1500W)

- Circuito 2 (Cocina)
 - Focos Fluorescentes (20W)
 - Horno Microondas (1000W)
 - Refrigerador (150W motor encendido, se considerarán 50W continuos puesto que el motor funciona 1/3 del tiempo)
- Circuito 3 (3 Habitaciones + Pasillo)
 - 7 Ampolletas de bajo consumo (20W)
 - Televisor CRT 20" (80W)
 - Televisor CRT 14" (60W)
 - Televisor LCD 26" (100W)
 - Aspiradora (1800W)
 - Plancha (1500 watts)
 - Notebook (65W)
 - Módem + Router WiFi (10W)
- Circuito 4 (Exteriores)
 - Ampolletas de bajo consumo (20W)

3.2 NIVELES DE INSOLACION EN CHILE

Como se mencionó en el capítulo 2, la irradiancia y sobre todo la insolación son datos fundamentales para el diseño y dimensionamiento de un sistema FV. Por ello es importante tener a disposición datos actualizados de una o dos fuentes confiables de mediciones de al menos un año, donde se incluya la ubicación de interés y que estas mediciones hayan sido realizadas utilizando una placa solar con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar, que es la posición de mayor rendimiento para colectores fijos. Estas mediciones corresponden a las Horas Solares Peak (HSP), es decir, la cantidad de horas equivalentes en un día en el que se tiene una irradiancia hipotética de 1KW/m².

3.3 VALORES DIARIOS DE LOS PROMEDIOS MENSUALES DE INSOLACIÓN PARA SANTIAGO.

La siguiente tabla y su gráfico correspondiente, permitirán calcular y analizar con detalle el balance de la energía entre los consumos de la vivienda propuesta y la generación de energía eléctrica requerida para satisfacer dichos requerimientos de energía.

La generación de la energía eléctrica provendrá de dos fuentes, a saber: de la distribución de energía eléctrica comercial, en este caso Chilectra, y de la generación de energía eléctrica obtenida de una planta fotovoltaica.

El diseño de la planta solar se realizará utilizando el software de RETScreen de Canadá, sin perjuicio de lo anterior, se requerirá realizar las sensibilizaciones correspondientes, así como los balances de las energías, teniendo en consideración los aspectos técnicos propiamente tales, así como las factibilidades de acuerdo a los costos del proyecto y los espacios físicos correspondientes requeridos para la instalación de los paneles solares.

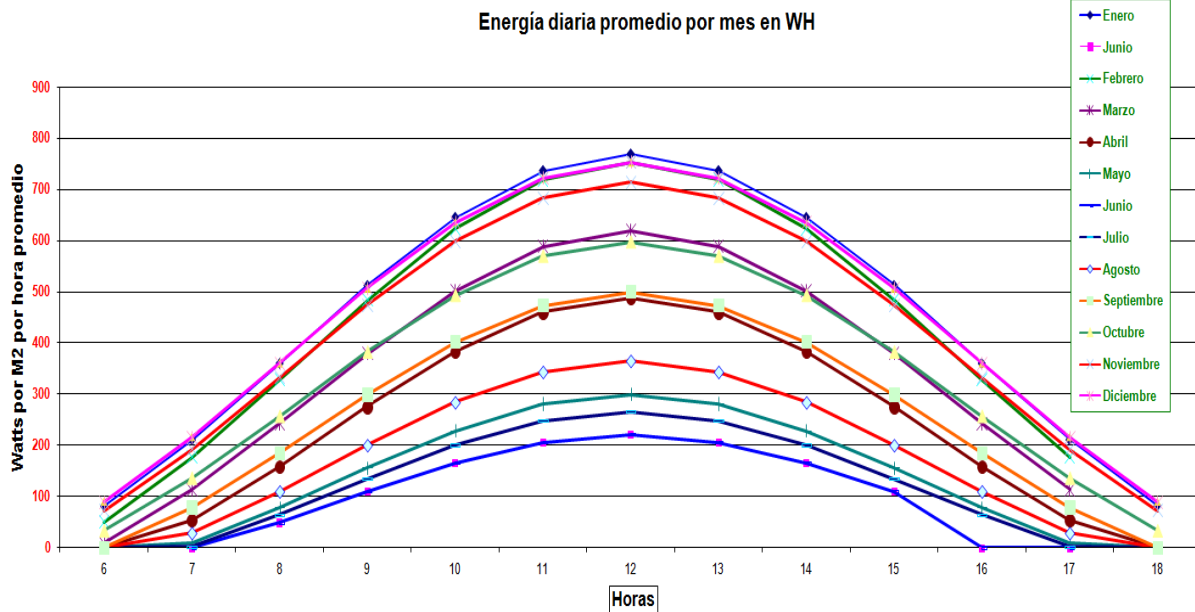
TABLA Nº 2 INSOLACION DIARIA PROMEDIO POR MES PARA SANTIAGO

INSOLACIÓN EN SANTIAGO EN CADA MES DEL AÑO , VALORES PROMEDIO POR DÍA EN 13 HORAS															
Elevación 33° Lat Sur 70° Log Oeste															
Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	WH/M2/DIA	Aporte porcentual de energía por mes , en %
Meses	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	
Ene	81,6	211,1	360,2	512,6	645,8	737	769,4	737	645,8	512,6	360,2	211,1	81,6	5866,0	13,1
Feb	50,8	177,7	327,9	484,5	623	718,6	752,7	718,6	623	484,5	327,9	177,7	50,8	5517,7	12,4
Mar	8,91	113,7	242,1	378,8	502	588,1	619	588,1	502	378,8	242,1	113,7	8,9	4286,2	9,6
Abr		52,7	158	274,8	382,7	459,3	487,1	459,3	382,7	274,8	158	52,7		3089,4	6,9
May		9,60	78,1	155,6	228,1	280	298,8	280	228,1	155,6	78,1	9,6		1801,6	4,0
Jun			49,7	109,8	166,1	206,3	220,9	206,3	166,1	109,8	49,7			1284,7	2,9
Jul			2	63,6	134,2	200,6	248,2	200,6	134,2	63,6	2			1562,7	3,5
Ago			28,1	109,6	200,2	284,1	343,7	343,7	284,1	200,2	109,6	28,1		2296,7	5,1
Sep			78,3	184,3	298,1	400,9	473	499	473	400,9	298,1	184,3	78,3	3368,2	7,5
Oct	33,4	136,3	257,3	382,7	493,7	570,3	597,7	570,3	493,7	382,7	257,3	136,3	33,4	4345,1	9,7
Nov	72,6	193,4	332,4	474,3	598,4	683,6	713,9	683,6	598,4	474,3	332,4	193,4	72,6	5423,3	12,1
Dic	89,1	215,9	360,5	507,3	635,1	722,4	753,4	722,4	635,1	507,3	360,5	215,9	89,1	5814,0	13,0

44655,6

Fuente: Universidad Santa María y N.U.

GRAFICO Nº 6 INSOLACION DIARIA PROMEDIO POR MES PARA SANTIAGO



Fuente: Propia a partir de los datos de la U. Santa María y N.U.

3.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO TEORICO A UTILIZAR

Modelo de RETScreen para el desarrollo y diseño de la planta solar

Este modelo es utilizado en la evaluación de la producción de energía y para evaluar el desempeño financiero de cualquier tipo de instalación fotovoltaica, en cualquier lugar del mundo.

En el caso particular de esta Tesis, el modelo se utiliza para el diseño del sistema fotovoltaico y su balance energético.

Este modelo considera etapas independientes, si bien relacionadas, a través de planillas de trabajo para el modelo energético, cálculos del recurso solar y la carga o consumos del sistema a estudiar, un análisis de costos, un análisis sobre los gases de efecto invernadero evitados por el proyecto evaluado y un análisis financiero completo. Para el caso particular de este proyecto, sólo se consideran los aspectos y variables energéticas, ya que no se cubre un análisis financiero, contemplándose solamente un estudio de costos preliminares.

En este estudio se considera el modelo energético del proyecto, donde se contemplan los cálculos referentes a la situación climática de la ubicación de la planta solar y los valores de la energía solar con las que se requiere generar electricidad. En esta etapa se debe conocer las estadísticas sobre días libres de nubosidad, temperaturas promedio diarias, días con lluvia, cantidad de horas de sol diarias, todo lo anterior para realizar los cálculos de energía producida con los paneles fotovoltaicos seleccionados. Sin embargo en las variables y parámetros requeridos por el programa de RETScreen, para el diseño de la planta fotovoltaica, particularmente la insolación, ya han sido considerados todas las variables anteriormente nombradas. Esto permite simplificar el diseño, particularmente en la etapa de los cálculos, ya que de otra forma habría que desarrollar los algoritmos para realizar dicho diseño.

Para realizar los cálculos que son necesarios para el desarrollo y evaluación de un proyecto fotovoltaico de cualquier tipo, se debe seguir el siguiente orden:

El signo menos es para señalar que la medición se realizara en el hemisferio Sur, donde n es el día del año, con $n=1$ para el 1 de enero, 32 para el 1 de febrero. Este valor es cero para los equinoccios de primavera y de otoño. La declinación es comparable a la latitud geográfica, se mide en grados. Cuando la declinación coincide con la latitud de una locación, la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie terrestre.

La declinación representa la orientación que deberían tener los paneles para poder recibir la mayor cantidad de radiación al medio día solar y poder así aprovechar dicha energía durante el resto del día. Este valor es independiente de las condiciones climáticas del lugar.

Por cierto, existen los sistemas con seguimiento de la ruta del sol, para plantas solares mayores a las requeridas en una casa como la de la tesis, con los cuales se mejora la eficiencia de dichos sistemas solares.

Día solar, hora solar y puesta de Sol

Cuando el sol alcanza el punto más alto, que coincide con el momento en que el Sol cruza el meridiano del lugar, es mediodía solar.

Hora solar es la hora local de donde se encuentra utilizando el sol como referencia. El ángulo de una hora de sol, representa el movimiento del Sol, en grados, durante una hora, respecto al meridiano local, negativo por la mañana y define el lugar del proyecto, el cual tiene un vínculo con los datos referentes a los recursos solares del lugar y la definición de los consumos. En esta planilla, con la ayuda de una extensa base de datos, se obtienen los datos meteorológicos, donde se trabaja con una base de datos meteorológicos de la NASA, para los cálculos de la energía producida.

El Sistema Fotovoltaico

Conceptos básicos de la energía solar

Previo a examinar los detalles del modelo de sistema fotovoltaico es necesario incluir los conceptos sobre la energía solar y su radiación, estas variables serán utilizadas en varias secciones del desarrollo del modelo.

Declinación

Representa la ubicación angular del Sol al medio día solar, respecto al Ecuador, en otras palabras, el ángulo que forma el Sol con el Ecuador. Su valor se representa en la siguiente ecuación:

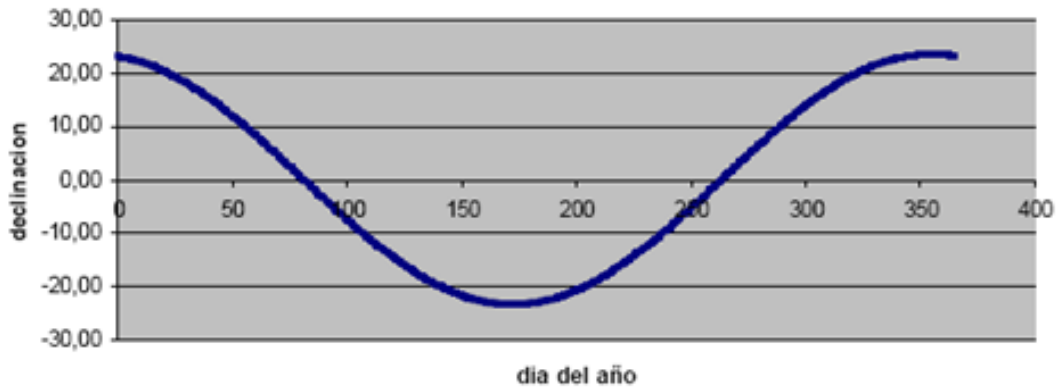
$$\delta = -23,45 \sin\left(2\pi \frac{284 + n}{365}\right)$$

(1)

El signo menos se incluye para señalar que la medición se realizara en el hemisferio Sur, n es el día del año, con n=1 para el 1 de enero, 32 para el 1 de febrero. Este valor es cero para los equinoccios de primavera y de otoño. La declinación es comparable a la Latitud geográfica, se mide en grados. Cuando la declinación coincide con la latitud de una locación, la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie terrestre.

La declinación representa la orientación que deberían tener los paneles para poder recibir la mayor cantidad de radiación al medio día solar y poder aprovecharlo durante el resto del día. Este valor es independiente de las condiciones climáticas del lugar.

**FIGURA Nº 10
DECLINACION**



Fuente: (2004) "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases". Minister of Natural Resources Canadá. Canadá.

Día solar, hora solar y puesta de Sol

Cuando el sol alcanza el punto más alto, que coincide con el momento en que el Sol cruza el meridiano del lugar, es mediodía solar.

Hora solar es la hora local de donde se encuentra utilizando el sol como referencia. El ángulo de una hora de sol, representa el movimiento del Sol, en grados, durante una hora, respecto al meridiano local, negativo por la mañana y positivo por la tarde. El ángulo de la puesta de Sol, ω , corresponde al ángulo respecto al Ecuador al momento de la puesta de Sol.

$$\cos\omega_s = -\tan\Psi \tan\delta$$

(2)

Donde δ es la declinación anterior y ψ representa la latitud del lugar.

Radiación extraterrestre e índice de claridad

Como ya se vio la radiación extraterrestre es aquella que se encuentra fuera de la atmósfera. La radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal, H_0 , para cualquier día del año, en cualquier lugar, se calcula como:

$$H_o = \frac{86400 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.33 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \Psi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \Psi \sin \delta)$$

(3)

Donde n es el día del año, δ la declinación, ψ la latitud y G_{sc} es la constante solar, 1367 W/m², esta constante representa la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, se mide en la parte externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos.

Antes de llegar a la superficie, las nubes y la atmósfera atenúan la radiación solar. La relación entre la radiación atenuada y la radiación extraterrestre se conoce como índice de claridad, K_T , mide la transparencia de la atmósfera, y en él se apoyan la mayoría de los métodos para estimar la radiación sobre superficies inclinadas:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o}$$

(4)

Para el cálculo de la radiación inclinada, un algoritmo basado en la metodología para la radiación en superficies horizontales, los cálculos de absorción de radiación son los mismos pero se repiten según vaya cambiando la ubicación del Sol.

El primer paso consiste en calcular la radiación difusa para una superficie horizontal para todas las horas del día. A continuación, también para cada hora, se calculan los

valores de radiación sobre una superficie inclinada Por último, sumar los valores para obtener los valores de irradiación media sobre la superficie fotovoltaica.

Calculo de la radiación difusa

La radiación incidente se puede desglosar en dos componentes: la radiación que emana directamente del Sol y la radiación difusa que proviene del resto del cielo.

El cálculo de la radiación incidente usado por el método propuesto por RETScreen requiere conocer ambos componentes.

La media mensual de radiación difusa, H_d , se calcula a partir de la media mensual de radiación global con fórmulas de Collares-Pereira y Rabl para la radiación global, pero antes del cálculo de radiación global es necesario conocer la radiación difusa:

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \omega_s \cos\omega_s}$$

(5)

Donde r_d representa la radiación difusa para una hora de un día determinado, donde ω_s es el ángulo de puesta del sol y ω el ángulo del Sol a la hora que se hace el cálculo. Y para la radiación global:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos\omega) \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \omega_s \cos\omega_s}$$

(6)

Con:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin\left(\omega_s - \frac{\pi}{3}\right)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin\left(\omega_s - \frac{\pi}{3}\right)$$

(7)

Donde r_t es la radiación total por hora, ω_s es el ángulo de puesta del sol y ω el ángulo del sol.

$$H = r_t \bar{H}$$

$$H_d = r_d \bar{H}_d$$

$$H_b = H - H_d$$

(8)

Cálculo de la irradiancia sobre el plano del generador fotovoltaico

RETScreen propone un modelo isotrópico sencillo, que si bien advierte que no es el más preciso disponible para una etapa de prefactibilidad es lo suficientemente aceptable, se define como la irradiancia, para cada hora, sobre el plano del generador fotovoltaico:

$$H_t = H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + H_p \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

(9)

Donde ρ representa la reflectancia difusa de la tierra, también llamado albedo terrestre, y β es la pendiente del generador fotovoltaico.

El albedo terrestre se refiere a la energía reflejada desde la Tierra al Universo. Este se fija dependiendo de la temperatura, si la temperatura es superior a 0 °C toma un valor de 0,2 cuando la temperatura es inferior a -5 °C se fija en 0,7, con una

interpolación lineal entre estos valores. R_b es la proporción de radiación en la matriz fotovoltaica, que se expresa como:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

(10)

Donde θ representa el ángulo de incidencia del haz de irradiación sobre el generador fotovoltaico y θ_z es el ángulo cenital del Sol. El ángulo cenital solar, en función del tiempo, del día del año y de la latitud, se puede calcular utilizando la relación:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega$$

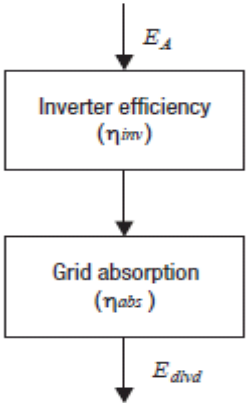
(11)

Donde δ es la declinación del sol, φ es la latitud; negativa para el hemisferio Sur, y ω el ángulo horario. Para cualquier latitud, al medio día $\cos\theta_z = 0$ y $\theta_z = \varphi - \delta$

La ventaja de este método, y la característica por la que se opta por él, es que se puede acomodar a las situaciones en que el generador fotovoltaico varía durante el día. Aunque esta opción no será considerada para este proyecto aunque de igual manera los cálculos deberán realizarse para cada hora del día, para poder llegar a obtener un promedio diario mensual, con el que al final se realizara el diseño.

Modelo del generador fotovoltaico

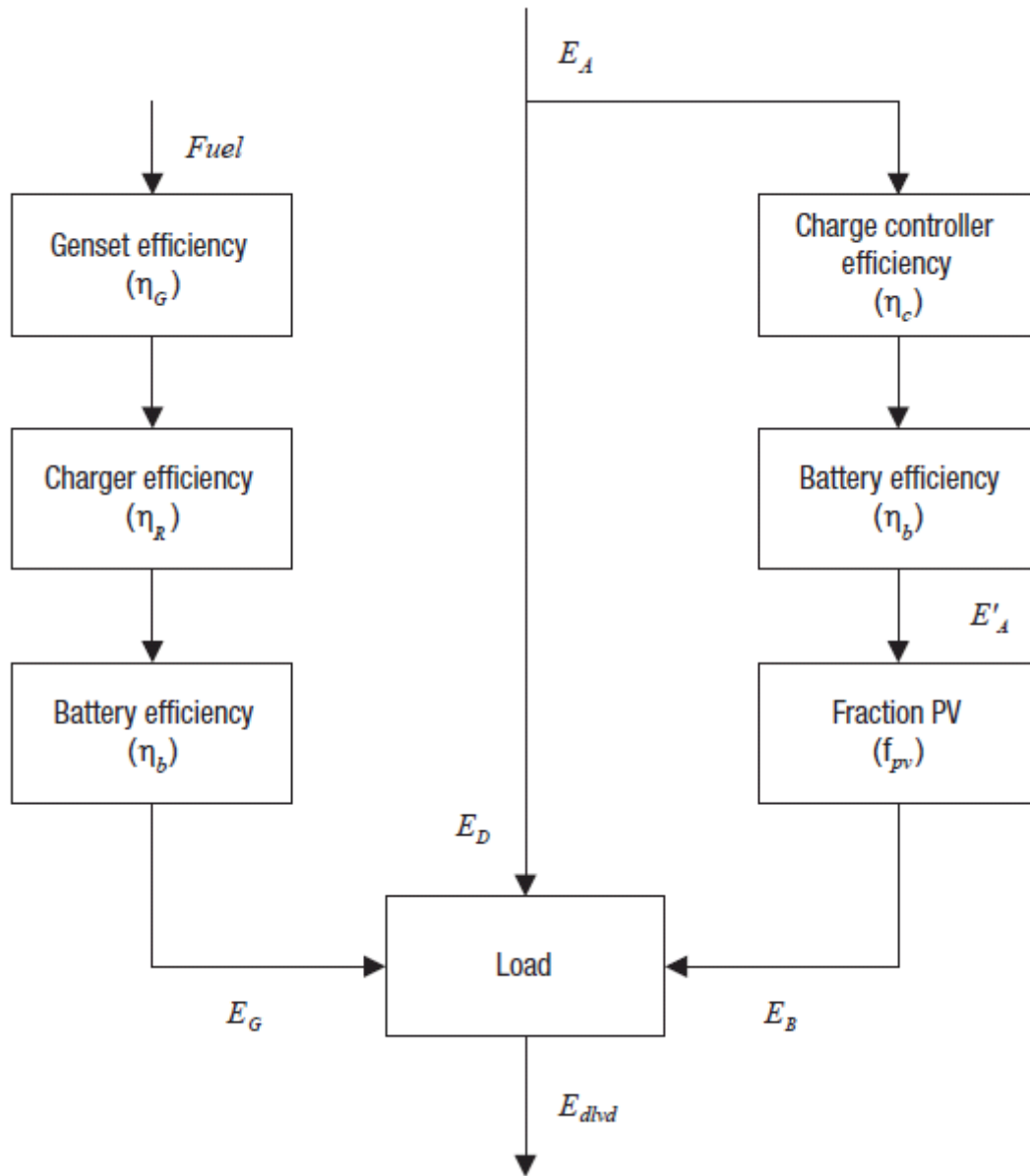
FIGURA N° 11
SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA GRILLA



Fuente: (2004) "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases". Minister of Natural Resources Canadá.
Canadá.

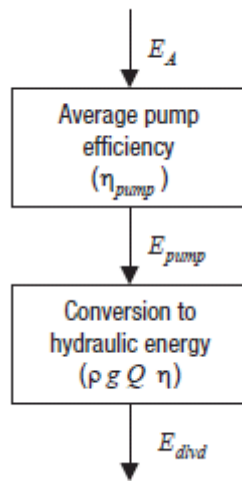
SOLO USO ACADÉMICO

FIGURA N° 12
SISTEMA FOTOVOLTAICO FUERA DE LA GRILLA



Fuente: (2004) "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases". Minister of Natural Resources Canadá. Canadá.

FIGURA N° 13
MODELO DE BOMBEO DE AGUA



Fuente: (2004) "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases". Minister of Natural Resources Canadá. Canadá.

3.5 BALANCE ENERGETICO

Consideraciones para la realización del balance energético:

- Los consumos entregados por Chilectra será la información a considerar como fundamental para los requerimientos anuales de energía eléctrica de la casa analizada.
- Las medidas realizadas en forma individual sólo son referenciales, y se consideran muy parcialmente.
- Por tratarse de una solución con conexión a la grilla, se ha propuesto un diseño para optimizar el uso de la energía en el mes de la mayor insolación en este caso enero, que no necesariamente debe coincidir con el mes de mayor consumo.

- De acuerdo con los consumos entregados por Chilectra el mes de mayor consumo es julio, que no coincide con el mes de mayor insolación en Santiago.
- El mes de mayor insolación es enero, lo que implica que al no coincidir con el mes de mayor consumo, julio, este mes requerirá aportes de energía desde la grilla.
- Como el diseño se ha propuesto para el mes de mayor insolación se debe considerar el valor peak, para el mes de enero, con un consumo de 188KWh. Es posible diseñarlo para un consumo mayor a los 188KWh, por ejemplo la energía consumida en julio, es decir, 264KWh, pero en ese caso habría energía generada que no sería utilizada por la vivienda en los meses de menor consumo. Esta solución sería válida de existir en Chile una red inteligente, que se está implementando en los países desarrollados. Esta solución con conexión a la grilla se realiza con un medidor bidireccional, que permite medir la energía de entrada y salida a la casa, lo cual se llama net metering, que permite al usuario vender energía a Chilectra, si su sistema fotovoltaico genera más energía que la consumida. Actualmente la ley está aprobada, pero falta el reglamento para una masificación de esta solución.
- Por lo anterior, el diseño propuesto será: 1) Diseño de una planta fotovoltaica para un consumo de 188KWh, con la insolación del mes de enero, 2) La planta fotovoltaica tendrá un almacenamiento diario para las 24 horas, para así satisfacer el consumo en cualquier instante requerido. Por cierto, el diseño de la planta se considera como un sistema con diferentes tipos de servicios, pero cada uno con los mismos requerimientos en la calidad de la energía eléctrica, y con los mismos costos por KWh.

- Sin embargo, los potenciales de los consumos medidos, según los electrodomésticos y aparatos que consumen energía en la vivienda a estudiar, corresponden a 9.000 Watts aproximadamente, que corresponde al valor máximo. Por lo anterior, el diseño se debe realizar para la potencia de consumo máximo.

La tabla siguiente muestra los datos de la energía consumida, según Chilectra, que son la base para el dimensionamiento de la planta FV:

**TABLA Nº 3
ENERGIA CONSUMIDA SEGÚN CHILECTRA DURANTE EL AÑO**

Enero	188 KWh
Febrero	171 KWh
Marzo	167 KWh
Abril	177 KWh
Mayo	216 KWh
Junio	213 KWh
Julio	265 KWh
Agosto	202 KWh
Septiembre	214 KWh
Octubre	207 KWh
Noviembre	179 KWh
Diciembre	189 KWh
TOTAL ANUAL	2388 KWh

Fuente: Cuentas de consumo eléctrico Chilectra

Se resalta que en el mes de enero se tiene la máxima insolación en la ubicación, y en julio la mínima.

La solución fotovoltaica elegida podría generar una energía anual igual o superior a los 2388KWh, pero no necesariamente generaría las potencias mensuales requeridas, fundamentalmente por razones de costos.

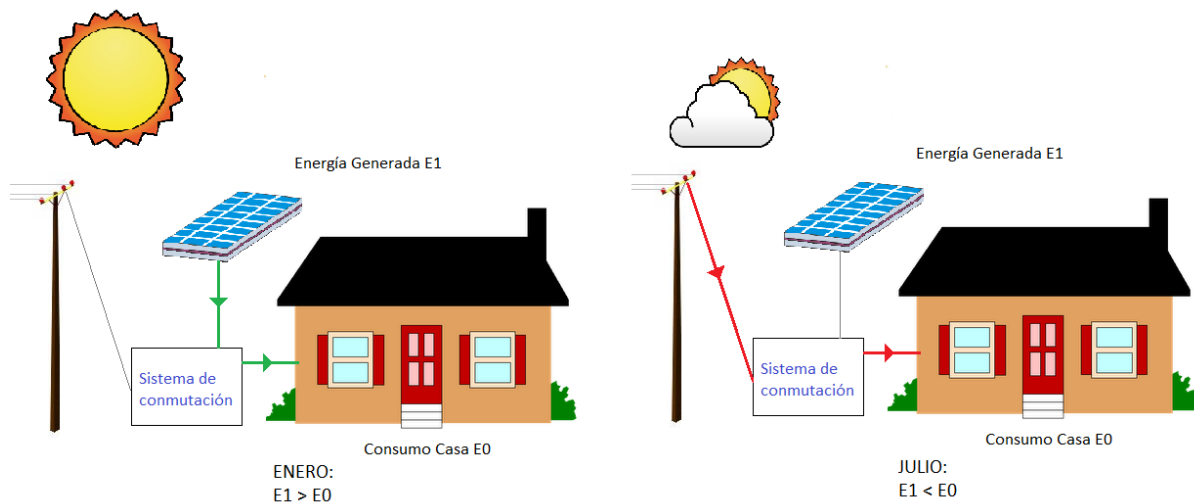
Condiciones requeridas en diseño el prototipo

El diseño se realizará para que en el mes de enero el sistema pueda generar toda la energía que se demanda para dicho mes, no así para julio, donde la demanda es mayor y la insolación es la mínima del año: Por otra parte, el diseño contempla generar como mínimo la energía requerida durante el año.

En resumen las variables de diseño son: generar como mínimo la energía requerida durante el mes de enero, es decir 188KWh, y a su vez generar como mínimo la energía requerida durante el año.

La sensibilización de las variables del programa de RETScreen, nos indicarán bajo qué condiciones del diseño se cumplen ambas variables.

FIGURA N° 14
ESQUEMA DEL BALANCE ENERGETICO



Fuente: Propia

Por otra parte se podrían plantear dos soluciones sensibilizando el programa para la actualidad, y una segunda alternativa pensando en un mediano plazo. Es muy

probable que en un plazo menor a 10 años se puedan obtener una solución FV con costos del orden de US\$1 por Watt. Asimismo, la eficiencia de un panel fotovoltaico podría estar cercana a un 30%, siendo en la actualidad cercana a un 16%.

Sin embargo, siendo la prioridad de la tesis el diseño tecnológico, sólo se orientará el diseño de un proyecto que es posible actualmente realizar con una solución fotovoltaica, sin analizar el impacto que los costos podrían tener en una solución para una vivienda. Esto se respalda en el hecho que existen muchos lugares, donde no es posible disponer de energía, o energía eléctrica de bajo costo.

Software RETScreen

Utilizando el software de RETScreen que consiste en un programa realizado utilizando macros de Excel, en donde se consideran bases de datos internacionales de insolación de acuerdo a la ubicación, eficiencias y características de distintas marcas de paneles fotovoltaicos, es posible realizar el cálculo de paneles fotovoltaicos necesarios para la demanda energética que se tiene que cumplir. El software considera todos los aspectos teóricos dados a conocer anteriormente, para así obtener el sistema más adecuado según la demanda de la vivienda.

Se tiene que la vivienda tiene un consumo máximo de potencia de alrededor de 9.000W, como se mencionó con anterioridad. Estimando las horas de uso, el software arrojó una demanda anual de 2.409KWh, lo cual se acerca lo suficiente al consumo anual medido por Chilectra (2.388KWh).

Luego de ingresados estos datos al software, este nos dice que para cubrir la demanda requerida se deberá de disponer un arreglo de paneles fotovoltaicos con una potencia nominal de 8,00KWp. Con este arreglo, y considerando la insolación anual de Santiago ya incorporado al software RETScreen y las eficiencias de los sistemas, se dispondrá de una entrega anual de energía de 2.567KWh, suficiente para cubrir la demanda medida por Chilectra de 2.388KWh.

3.6 DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

3.6.1 Paneles Fotovoltaicos

Detallando lo dado a conocer en el párrafo anterior, se indicó en el software de RETScreen, un arreglo con una potencia nominal de 8,00KWp para generar la energía anual requerida de 2.388KWh, considerando los datos anuales de insolación de Santiago de Chile.

En el software, se escogió como referencia un tipo de panel marca Sharp, modelo NT-175U1, monocristalino de 175Wp cada módulo, cuya eficiencia es del 13,5%. De acuerdo a esto, se requieren de 46 módulos que ocuparán una superficie de 59,3 m².

3.6.1.1 Programa utilizado para el diseño de la planta fotovoltaica

A continuación se dan a conocer dos capturas de pantalla del software RETScreen en donde se realizaron los cálculos.

SOLO USO ACADÉMICO

FIGURA Nº 15 MATRIZ DE CALCULO DE LOS RESULTADOS FINALES

RETScreen® Energy Model - Photovoltaic Project

[Case Studies](#)

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		TESIS sdo	See Online Manual
Project location		Santiago Chile	
Nearest location for weather data	-	SantiagoQuinta Normal	Complete SE&SI sheet
Latitude of project location	°N	-33,5	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	1,11	
Annual average temperature	°C	14,4	-20.0 to 30.0
DC energy demand for months analysed	MWh	0,000	
AC energy demand for months analysed	MWh	2,409	

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	Off-grid	
PV system configuration	-	PV/battery	
Base Case Power System			
Source	-	Genset	
Fuel type	-	Propane - L	
Specific fuel consumption	L/kWh	0,5500000	
Power Conditioning			
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	9,56	
Inverter capacity	kW (AC)	0,5	
Average inverter efficiency	%	90%	80% to 95%
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%
Battery			
Days of autonomy required	d	2,0	1.0 to 15.0
Nominal battery voltage	V	24,0	12.0 to 120.0
Battery efficiency	%	85%	50% to 85%
Maximum depth of discharge	%	70%	20% to 85%
Charge controller (DC to DC) efficiency	%	95%	85% to 95%
Battery temperature control	-	Constant	
Constant battery temperature	°C	25,0	15.0 to 30.0
Average battery temperature derating	%	0%	0% to 50%
Suggested nominal battery capacity	Ah	873	
Nominal battery capacity	Ah	1,100	
PV Array			
PV module type	-	mono-Si	
PV module manufacturer / model #		Sharp/ NT-175U1	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	13,5%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	%/°C	0,40%	0.10% to 0.50%
PV array controller	-	MPPT	
Miscellaneous PV array losses	%	5,0%	0.0% to 20.0%
Suggested nominal PV array power	kWp	12,69	
Nominal PV array power	kWp	8,00	
PV array area	m ²	59,3	

Annual Energy Production (12.00 months analyse)		Estimate	Notes/Range
Equivalent DC energy demand	MWh	2,676	
Equivalent DC demand not met	MWh	0,110	
Specific yield	kWh/m ²	43,3	
Overall PV system efficiency	%	3,9%	
PV system capacity factor	%	3,7%	
Renewable energy delivered	MWh	2,567	
	kWh	2,567	

[Complete Cost Analysis sheet](#)

Version 3.2

© Minister of Natural Resources Canada 1997 - 2005.

NRCan/CETC - Varennes

Fuente: Propia del diseño

FIGURA Nº 16 PARAMETROS Y VARIABLES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

RETScreen* Solar Resource and System Load Calculation - Photovoltaic Project

Site Latitude and PV Array Orientation		Estimate	Notes/Range
Nearest location for weather data		Santiago/Quinta Normal	See Weather Database
Latitude of project location	*N	-33,5	-90.0 to 90.0
PV array tracking mode	-	Fixed	
Slope of PV array	*	30,0	0.0 to 90.0
Azimuth of PV array	*	0,0	0.0 to 180.0

Monthly Inputs					
Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m ² d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m ² d)	Monthly solar fraction (%)
January	1,00	6,28	20,9	5,63	100%
February	1,00	5,56	19,9	4,65	100%
March	1,00	4,19	17,6	3,18	100%
April	1,00	2,58	14,2	1,82	100%
May	1,00	1,75	11,1	1,12	99%
June	1,00	1,22	8,5	0,72	71%
July	1,00	1,33	8,1	0,81	80%
August	1,00	2,28	9,5	1,49	100%
September	1,00	3,06	11,5	2,32	100%
October	1,00	4,86	14,5	3,94	100%
November	1,00	5,69	17,3	5,03	100%
December	1,00	6,42	19,9	5,86	100%
		Annual		Season of use	
Solar radiation (horizontal)		MWh/m ²	1,37	1,37	
Solar radiation (tilted surface)		MWh/m ²	1,11	1,11	
Average temperature		°C	14,4	14,4	

Load Characteristics		Estimate			
Application type	-	Off-grid			
Use detailed load calculator?	yes/no	Yes			
Description	AC/DC	Solar-load correlation	Load (kW)	Hours of use per day (h/d)	Days of use per week (d/wk)
Televisores	AC	Zero	0,180	4,00	7
Ampolletas bajo consumo	AC	Zero	0,120	2,00	7
Aspiradora	AC	Zero	1,800	0,30	3
PC de escritorio	AC	Zero	0,300	1,50	4
Hervidor eléctrico	AC	Zero	2,000	0,30	7
Equipo musical	AC	Zero	0,030	2,00	7
Plancha	AC	Zero	1,500	0,50	2
Lavadora	AC	Zero	0,300	1,00	2
Secador de pelo	AC	Zero	0,600	0,05	5
Secadora de ropa	AC	Zero	1,500	1,00	1
Horno microondas	AC	Zero	1,000	0,05	7
Refrigerador	AC	Zero	0,150	24,00	7
Notebook	AC	Zero	0,065	1,00	7
Modem + router wifi	AC	Zero	0,010	24,00	7
		<i>Daily average</i>		<i>Annual</i>	
DC energy demand		kWh (DC)	0,000	0,0	
AC energy demand		kWh (AC)	6,599	2.408,7	
AC peak load		kW (AC)		9,555	
Return to Energy Model sheet					

Fuente: Propia del diseño

Análisis del diseño de la planta fotovoltaica en relación a las variables de la vivienda y los resultados obtenidos a través del modelamiento utilizando el software de RETScreen

A continuación se presenta una síntesis de las etapas desarrolladas

- 1 En la hoja de cálculo correspondiente a los parámetros y variables que se requiere disponer, particularmente la potencia y energía eléctrica de la planta solar, deben definirse en esta etapa. Entre las variables más importantes están la latitud y longitud del lugar donde deberá estar dicha planta fotovoltaica. Otra de las variables corresponde a los consumos diarios y su distribución temporal durante el día.
- 2 Luego de definidos dichos parámetros y variables el sistema calcula la potencia y energía requerida en dicha aplicación. Adicionalmente traslada dichas variables y otras, como son la insolación y latitud del lugar donde se encuentra la vivienda, a la hoja de cálculo que realiza el diseño propiamente tal de la planta. Este diseño debe ser analizado en detalle para un correcto uso en la aplicación propiamente tal.
- 3 El desarrollo e instalación de la ingeniería de detalle no está considerado en la ingeniería de RETScreen aplicada a la casa en estudio.
- 4 En relación al estudio económico, el software entrega una serie de variables y resultados para disponer de una evaluación económica adecuada.
- 5 Entre las alternativas de sensibilización del programa, están el tipo de panel fotovoltaico, configuración del sistema, respaldo de la energía, etc.

También es posible definir el tipo de seguimiento solar, es decir, fijo, simple o doble seguimiento, que en el caso de una vivienda como la definida en el proyecto es normalmente fijo.

Adicionalmente se dispone de las principales fórmulas de cálculo, que permiten verificar algunas de las variables y sus resultados entregados por el programa de RETScreen.

**FIGURA Nº 17
DIMENSIONAMIENTO DE PANELES FV SEGÚN RETSCREEN**

PV Array

PV module type	-	mono-Si	
PV module manufacturer / model #		Sharp/ NT-175U1	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	13.5%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0.40%	0.10% to 0.50%
PV array controller	-	MPPT	
Miscellaneous PV array losses	%	5.0%	0.0% to 20.0%
Suggested nominal PV array power	kWp	12.69	
Nominal PV array power	kWp	8.00	
PV array area	m²	59.3	

Annual Energy Production (12,00 months analysed)		Estimate	Notes/Range
Equivalent DC energy demand	MWh	2,676	
Equivalent DC demand not met	MWh	0,110	
Specific yield	kWh/m²	43,3	
Overall PV system efficiency	%	3,9%	
PV system capacity factor	%	3,7%	
Renewable energy delivered	MWh	2,567	
	kWh	2,567	

[Complete Cost Analysis sheet](#)

Fuente: Propia del diseño

3.6.2 Sistema de Baterías

Como se explicó en el capítulo 2, el uso de las baterías en un sistema fotovoltaico es fundamental. Para nuestro caso, y para todo sistema aislado o en donde no se entregue energía a la red, la energía capturada por los paneles solares y que será utilizada por la vivienda se obtendrá directamente desde el banco de baterías, en donde siempre deberá haber un banco disponible con la energía suficiente para ser suministrada a el sistema de consumo.

En nuestro caso, se considera en el software de diseño dos días de autonomía, con el propósito de tener un banco de baterías siempre a plena carga, entregando así la energía requerida en la vivienda, y un banco cargándose continuamente durante el día con la insolación del mes correspondiente, siendo enero en Santiago el mes considerado como el mes peak para el diseño de la planta fotovoltaica. Esto es, durante un día un banco de baterías se estará cargando mientras el otro estará entregando la energía, para luego al día siguiente el banco de baterías ya descargado se estará cargando y el otro banco ya cargado se encargará de entregar la energía a la vivienda.

Hay que considerar que las baterías son de ciclo profundo y con una eficiencia de un 85%

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente de la demanda energética y paneles fotovoltaicos, el software RETScreen nos muestra lo siguiente:

FIGURA Nº 18
CAPACIDAD NOMINAL DE LAS BATERIAS SEGÚN DIAS DE AUTONOMIA

Battery			
Days of autonomy required	d	2,0	1.0 to 15.0
Nominal battery voltage	V	24,0	12.0 to 120.0
Battery efficiency	%	85%	50% to 85%
Maximum depth of discharge	%	70%	20% to 85%
Charge controller (DC to DC) efficiency	%	95%	85% to 95%
Battery temperature control	-	Constant	
Constant battery temperature	°C	25,0	15.0 to 30.0
Average battery temperature derating	%	0%	0% to 50%
Suggested nominal battery capacity	Ah	873	
Nominal battery capacity	Ah	1.100	

Fuente: Propia del diseño de la Tesis

Como se observa en la imagen, se indicó que se requieren 2 días de autonomía, un voltaje nominal de 24V (de acuerdo a los paneles FV) y considerando los datos de

eficiencia de las baterías, profundidad de descarga 70% y temperatura constante de 25°C.

Los conceptos teóricos se pueden estudiar con más detalle en el capítulo 2.

Luego el software nos indica que se necesita una capacidad nominal del banco de baterías de 1.100Ah, de acuerdo a nuestra necesidad energética.

Con lo anterior, se tiene que:

$$Ah = 1.100 \rightarrow \text{Energía Disponible} = 25(v) \times 1.100(Ah) = 26.400(Wh)$$

La capacidad de almacenamiento de energía de nuestro banco de baterías será de 26.400 Wh. Sin embargo, como se explicó anteriormente, en un día un banco de baterías se estará cargando mientras el otro se estará utilizando. Por lo tanto la utilización diaria de energía del banco de baterías será de:

$$Wh(\text{diario}) = \frac{26.400}{2} = 13.200$$

Y:

$$Ah = \frac{1.100}{2} = 550$$

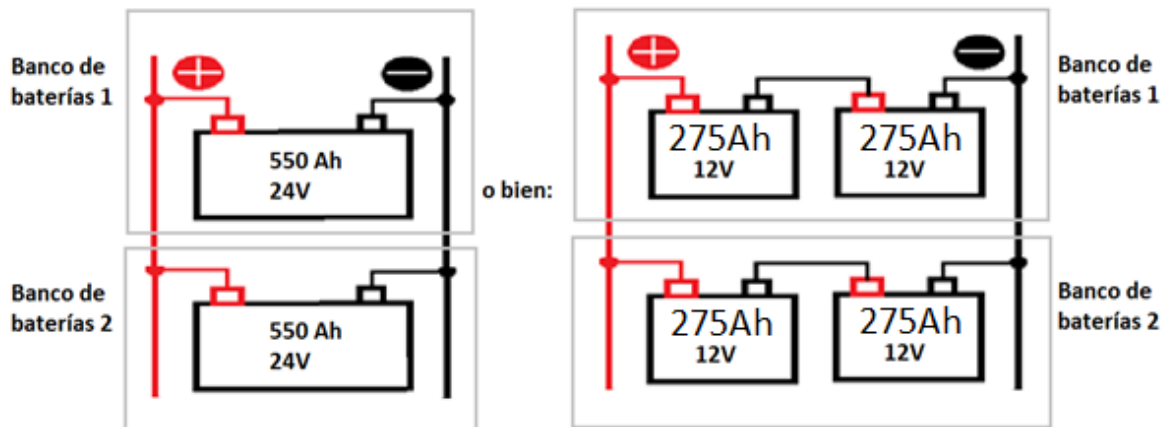
Por lo tanto, nuestro sistema se compondrá de dos bancos de baterías de 550Ah cada uno. Realizando un arreglo en donde se disponga de 24V para los paneles ya calculados, puesto que generalmente paneles cuyas potencias nominales son mayores de 160Wp, tienen un voltaje nominal de 24V.

Cabe destacar que se utilizará un conmutador, ya sea de tipo manual o automático con temporizador, para seleccionar el banco de baterías que se está cargando mientras el otro se está utilizando para el consumo de la energía.

Por lo general, en el mercado internacional existen baterías con capacidades de 100Ah y 200Ah y más, todas para 12V. Para lograr los 24V se necesita realizar una configuración en serie de 2 baterías de 12V y por otro lado, podríamos obtener los 1100Ah conexionando las baterías en paralelo.

Dado lo anterior, se pueden realizar distintas configuraciones para obtener el banco de baterías deseado, según la disponibilidad de baterías que se encuentren en el mercado, por ejemplo en la imagen siguiente se da a conocer dos opciones para nuestro sistema:

FIGURA N° 19
ALTERNATIVAS PARA EL BANCO DE BATERIAS



Fuente: Propia del diseño de la Tesis

3.6.3 Controlador de Carga

El diseño de la planta solar nos indica que el sistema requiere una cantidad equivalente a 46 paneles de 175Wp a 24V. Por lo tanto se tiene una corriente máxima de 335,4A que circulará hacia las baterías desde dichos paneles a través del controlador de carga. Se puede optar por dividir en tres grupos de paneles FV en paralelo para utilizar 3 controladores de carga de 140A, puesto que los controladores con una mayor capacidad son más escasos en el mercado.

3.6.4 Inversor

Dada las características del diseño, se considera un inversor de 7KW, para una condición excepcional de 8kw de consumo, que es el valor peak proyectado en el tiempo, ya que el valor actual peak, no excede de 3.700W. La eficiencia de este inversor es de 90%.

3.6.5 Otros componentes

Existen otros componentes necesarios para la conexión y funcionamiento del sistema fotovoltaico, como lo son cables de conexión, fusibles, diodos para evitar que un panel fotovoltaico reciba corriente inversa (como si fuera una carga), interruptores opcionales, etc.

El detalle de estos componentes no están en el alcance del proyecto, sin embargo las pérdidas de potencia están ya consideradas dentro de los porcentajes de holgura dados a conocer anteriormente.

3.6.6 Sistema completo y costos asociados

La siguiente imagen corresponde al sistema completo dimensionado como resultado del estudio realizado en el presente capítulo:

De los 2.400KWh anuales útiles generados por el sistema fotovoltaico, un 13,1% es generado durante el mes de enero, es decir 314KWh.

Por otra parte, como se vio en la tabla de los consumos medidos por Chilectra, en el mes de enero se consumieron 188KWh, es decir existe una disponibilidad de 124KWh. De existir un sistema de net metering, es decir que mida la energía entrante y saliente en una vivienda, se podría vender dicha energía a la distribuidora Chilectra en el caso de Santiago.

TABLA Nº 4
DISTRIBUCION MENSUAL DE LA ENERGIA EN RELACION A LOS CONSUMOS ANUALES DE LA VIVIENDA

Energía consumida según Chilectra	Mes	Distribución Mensual de la Insolación % Insolación KWh/m2/d/m/año	Energía eléctrica KWh mensual desde generador FV
188 KWh	ENERO	13,1	314
171 KWh	FEBRERO	12,4	297
167 KWh	MARZO	9,6	230
177 KWh	ABRIL	6,9	165
216 KWh	MAYO	4	96
213 KWh	JUNIO	2,9	69
265 KWh	JULIO	3,5	84
202 KWh	AGOSTO	5,1	122
214 KWh	SEPTIEMBRE	7,5	180
207 KWh	OCTUBRE	9,7	232
179 KWh	NOVIEMBRE	12,1	290
189 KWh	DICIEMBRE	13	312
Total	2388 KWh		

Fuente: Propia del diseño

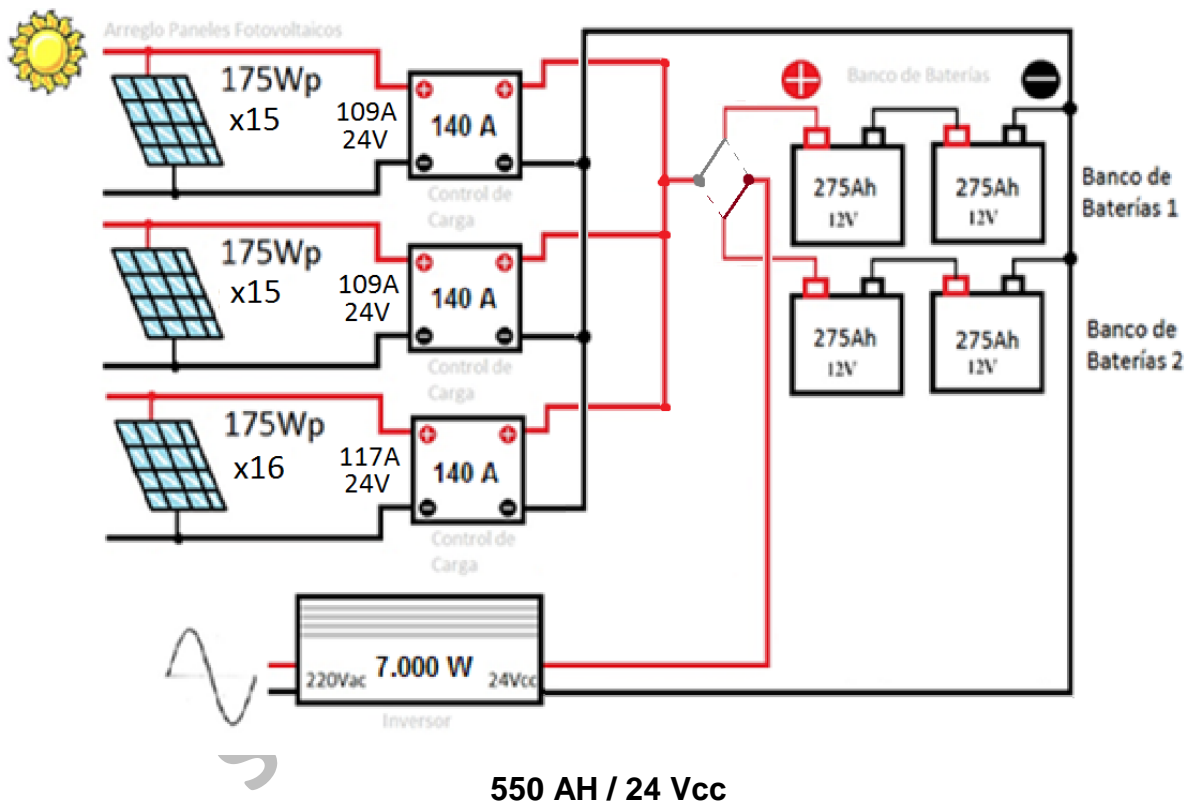
Se puede apreciar que los meses en negro son aquellos donde la energía solar, con el diseño realizado, puede suministrar la energía eléctrica requerida por la casa prototipo. Por cierto, en este caso sería posible suministrar adicionalmente la diferencia entre la energía eléctrica generada por la planta fotovoltaica y el consumo medido por Chilectra.

Por otra parte, se aprecia que los meses en rojo son aquellos en que la energía solar, es decir la insolación, suministra la energía eléctrica en forma parcial, por lo cual su diferencia deber ser entregada por Chilectra.

FIGURA Nº 20 SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLETO DIMENSIONADO PARA LA VIVIENDA

2.567 kwh energía equivalentes anual

2.400 kwh, energía eléctrica anual



Fuente: Propia del diseño

La imagen anterior permite mostrar en cada uno de sus subsistemas, el tipo de energía y sus correspondientes valores.

Se observa que en la entrada del banco de baterías se tiene el conmutador que permite que durante un día un banco de baterías se esté cargando mientras el otro está entregando la energía a la vivienda, para al día siguiente invertir estos roles.

Se debe recalcar que en los meses de invierno con baja insolación se deberá recurrir a la energía eléctrica de Chilectra para cubrir el diferencial de energía que no es entregada por el sistema fotovoltaico. En esta situación, se deberá recurrir a un sistema de conmutación que permita que el circuito de la vivienda sea alimentado por el suministro de energía convencional, en este caso, Chilectra.

Un estudio preliminar de costos es el siguiente:

Sin duda el estudio y desarrollo de un proyecto fotovoltaico debería contemplar una evaluación económica detallada antes de ser desarrollado, independiente de su tamaño.

SOLO USO ACADÉMICO

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto de licenciatura se realizó teniendo como objetivo el diseño de una planta fotovoltaica, para suministrar energía eléctrica para así satisfacer la demanda de energía de una vivienda de cuatro habitaciones.

Consideraciones del proyecto de Tesis de Grado:

- Es completamente posible, desde el punto de vista técnico, alimentar una vivienda de cualquier magnitud, en relación a su consumo eléctrico con sistemas fotovoltaicos en base a paneles, baterías, controladores de carga e inversor. Por cierto, la latitud tiene una importante incidencia en los costos de la solución, dada la directa relación entre la energía eléctrica generada y el número de paneles requeridos.
- Una de las principales dificultades radica en los costos de cada watt generado en una solución fotovoltaico. Asimismo, la variable correspondiente a la eficiencia es relativamente baja en comparación con otras soluciones que utilizan energías renovables.
- Las bases conceptuales desarrolladas en el capítulo dos permiten seguir con facilidad el desarrollo del proyecto, cuyo objetivo principal es el diseño de la planta fotovoltaica.
- La medición de los consumos mensuales de energía y la cantidad potencial de energía que pueden consumir los aparatos de la vivienda son variables fundamentales para el diseño de una planta de generación eléctrica,

particularmente en la energía solar, dada la dependencia de esta en la insolación diaria.

- Con el diseño de la planta fotovoltaica se cumplió con los objetivos específicos que se plantearon como metas a lograr, desarrollándose éste plenamente con el avanzado software RETScreen de Canadá.
- Adicionalmente al diseño propiamente tal para la generación de energía eléctrica, se realizó un completo análisis del balance energético, el cual es fundamental para las aplicaciones y usos propiamente tales.
- Dado que el sistema de la planta fotovoltaica se ha realizado con un software para el diseño profesional de plantas fotovoltaicas que cubren potencias máximas de varias decenas de KVA, en distintas plantas a nivel mundial, se puede garantizar el desarrollo de los cálculos para proyectos concretos en distintas partes de Chile. Por cierto falta la ingeniería de detalle de la planta, así como el proyecto de instalación de la misma. En lo que respecta al sistema de net metering, se podría desarrollar un prototipo a nivel de beta test incorporando la unidad de energía.
- Finalmente es importante considerar en un proyecto fotovoltaico, para una aplicación concreta, la evaluación técnico económica la cual permite mostrar con claridad los aspectos técnicos y su factibilidad comercial junto con el diseño técnico.

BIBLIOGRAFÍA

- RETScreen International (2004). "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases". Minister of Natural Resources Canadá. Canadá.
- Durán O., Sergio (2010, 2011). Apuntes de clases del curso de energía y medio ambiente, correspondiente al Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias de la Universidad Mayor, Chile.
- Durán O., Sergio (2008). "Estudio Preliminar de un Proyecto de Energía Eléctrica utilizando Energía Solar con CSP y FV". Estudio realizado en la Universidad Mayor para la Vice Rectoría de Investigación y Desarrollo, Chile.
- Cota, Alma y Ellis, Abraham (2000). "Energía Fotovoltaica en la Educación a Distancia". Southwest Technology Development Institute (SWTDI). Albuquerque, Nuevo México. Estados Unidos.
- Gasquet, Héctor (2004). "Manual Teórico Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos". Solartronic S.A. Cuernavaca, Morelos, México.
- De Cusa, Juan (2000). "Energía Solar para Viviendas". CEAC. Barcelona. España