

Guía de evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos

PROGRAMA TECHOS SOLARES PÚBLICOS



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

 Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Nombre del proyecto:
Proyecto Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor
Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago - Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:
Matthias Grandel

Título:
Guía de Evaluación inicial de Edificios para la instalación de Sistemas Fotovoltaicos

Autores:
Daniel Almarza, Asesor GIZ Chile

**Guillermo Soto Olea, Encargado PTSP,
División Energías Renovables,
Ministerio de Energía**

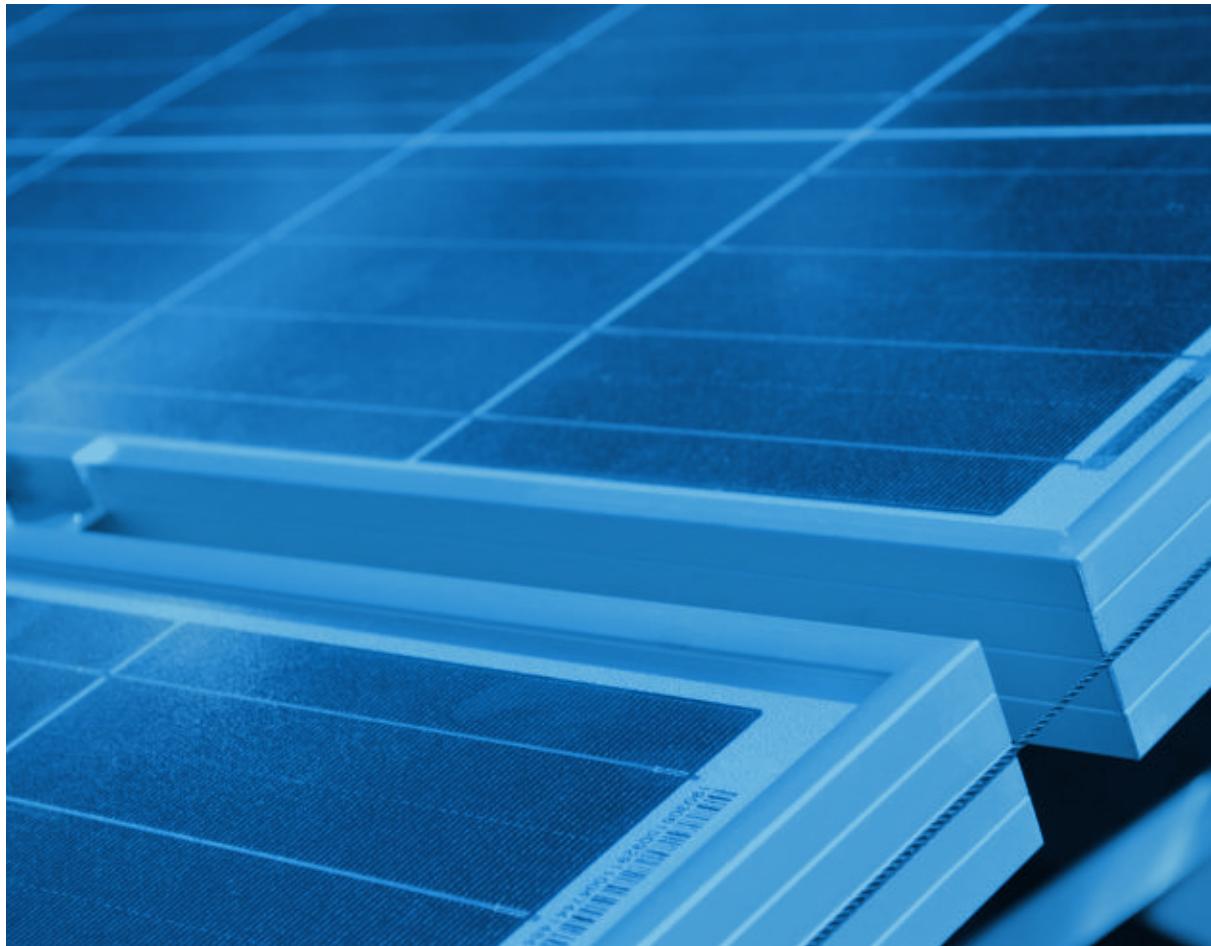
Aclaración

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB). Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Guía de evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos

PROGRAMA TECHOS SOLARES PÚBLICOS

Resumen Ejecutivo



El Programa Techos Solares Públicos (en adelante PTSP) es una iniciativa del Ministerio de Energía inserta en la Agenda de Energía, orientada a instalar sistemas fotovoltaicos (FV) en los techos de los edificios públicos, con el objeto de contribuir a la maduración del mercado fotovoltaico para autoconsumo.

A la fecha el programa ha licitado más de 61 proyectos, por un total de 2.162 kW. La experiencia del programa ha demostrado que no todos los inmuebles reúnen las condiciones para la instalación de un sistema FV. Así, esta guía busca documentar dicha experiencia.

Los sistemas fotovoltaicos (FV) conectados a la red, a través de la Ley 20.571, utilizan diversos aspectos del inmueble existente. En lo principal, los módulos fotovoltaicos se instalan preferentemente en los techos y se conectan a la instalación eléctrica interior de los edificios. Sin embargo, para que esto sea posible, se necesita que tanto los techos como los sistemas eléctricos estén en buenas condiciones. Cuando las condiciones no están dadas, es necesario realizar mejoras antes de instalar un sistema FV.

Las condiciones climáticas y las normas constructivas varían a lo largo de Chile, y existe una amplia variedad de edificaciones e inmuebles, lo que hace necesaria una evaluación particular para instalar un sistema FV para cada inmueble en específico. No obstante, existen varios factores y criterios comunes, descritos y explicados en esta guía, que se pueden aplicar en la mayoría de los casos. Por lo tanto, este documento debe ser entendido como una ayuda que establece prácticas razonables de elegibilidad.

En este documento se busca reflejar condiciones y criterios para que los interesados puedan autoevaluar sus inmuebles e identificar el posible potencial para la instalación de un sistema fotovoltaico, sin incurrir en mayores costos.

Esta guía está estructurada de la siguiente manera: en la primera sección se presenta un contexto general de sistemas FV y sus beneficios; en la segunda, se definen y explican los criterios de elegibilidad; finalmente, se entrega un resumen general de lo presentado en el documento.

Contenido



RESUMEN EJECUTIVO

2

INTRODUCCIÓN

6

El Programa Techos Solares Públicos (PTSP) y la Guía de Evaluación Inicial de Edificios para Instalación de Sistemas Fotovoltaicos	6
Objetivos de la Guía	6
Alcances	7
Los Sistemas Fotovoltaicos y La ley 20.571	7
Beneficios y Ejemplos	10
¿Cuánta Energía Genera un Sistema FV?	13



ASPECTOS DE EVALUACIÓN

Propiedad y Uso del Inmueble	19
Potencial FV para el Autoconsumo	20
Generación de Energía Fotovoltaica para el Autoconsumo	20
Normativa de Construcción	22
Techos en Buen Estado	23
Techumbres Incompatibles	24
Área mínima disponible	25
Orientación e Inclinación del Sistema FV	29
Evaluación del sistema eléctrico	32
Potencia Conectada del Inmueble	32
Norma de Electricidad	33
Distancia hasta el Punto de Inyección	34

ANEXO A: Checklist de Evaluación Inicial

BIBLIOGRAFÍA

Introducción



EL PROGRAMA TECHOS SOLARES PÚBLICOS (PTSP) Y LA GUÍA DE EVALUACIÓN INICIAL DE EDIFICIOS PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La siguiente Guía de Evaluación Inicial de Edificios para la Instalación de sistemas FV es una de varias publicaciones que se han elaborado bajo el Programa Techos Solares Públicos (PTSP) y el Proyecto “Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor” de la GIZ. Estas publicaciones buscan documentar y compartir la experiencia y aprendizajes del PTSP para facilitar e incentivar la instalación de sistemas FV.

OBJETIVOS DE LA GUÍA

Esta guía está diseñada para que el lector comprenda los siguientes aspectos de la evaluación inicial de edificios para la instalación de un sistema FV:

- Conocer y entender los requisitos que un inmueble debe cumplir para instalar un sistema fotovoltaico.
- Seleccionar un inmueble que merece un análisis más detallado a nivel de factibilidad, y descartar los no factibles sin incurrir en mayores gastos.
- Identificar el potencial del inmueble para la instalación de un sistema FV.

ALCANCES

Esta guía se ha elaborado para apoyar la evaluación inicial de edificios existentes para la instalación de sistemas FV sobre cubierta, conectados bajo la ley 20.571. Dicha evaluación es a nivel de perfil y se centra en los principales aspectos técnicos a tener en consideración.

LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y LA LEY 20.571

Un sistema FV convierte la energía solar en energía eléctrica, que al estar conectado a la red, puede ser utilizada para el autoconsumo del inmueble, y en caso de haber excedentes de electricidad estos pueden ser inyectados a la red eléctrica. La siguiente ilustración describe su funcionamiento.

Los sistemas FV tienen tres componentes principales: los módulos FV, el inversor y la estructura de soporte de los módulos FV. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno.

Ilustración 1 Funcionamiento de un sistema FV conectado a red bajo la ley 20.571 (Fuente: Ministerio de Energía)



- 1 La energía emitida por el sol es el recurso energético más importante para la vida en la tierra. Chile tiene una ubicación privilegiada y con alto potencial para su aprovechamiento.
- 2 Los paneles solares fotovoltaicos convierten la energía solar en electricidad (corriente continua).
- 3 El inversor transforma la electricidad producida por los paneles solares de corriente continua a corriente alterna, de modo que pueda ser utilizada en tu hogar, escuela, negocio o industria.
- 4 La energía producida puede ser utilizada durante las horas de sol y los excedentes que no son aprovechados en tu consumo pueden ser inyectados en la red de distribución para ser utilizados por otros. El medidor bidireccional contabiliza tanto la energía que consumes desde la red como aquella que inyectas en forma de excedentes.
- 5 Este modelo contribuye a constituir comunidades más limpias, seguras y sustentables.

08

Módulos fotovoltaicos o paneles fotovoltaicos

1

La corriente continua es el flujo de la carga eléctrica que circula entre dos puntos de distinto voltaje y no cambia de sentido. Esta corriente normalmente es constante en el tiempo, es decir el flujo de los electrones en el conductor eléctrico no varía de magnitud, pero basta con que la carga fluya siempre de un polo hacia el otro (de positivo a negativo, por convención) para que la corriente sea continua.

Son el principal componente del sistema FV y son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica de corriente continua¹. Los módulos FV han tenido un rápido avance tecnológico en cuanto a eficiencia, seguridad y calidad. Por esta razón, los fabricantes son capaces de entregar garantías extendidas de fabricación y rendimiento. Aun así, los módulos FV sufren una pequeña degradación en el tiempo (0,7% aprox. de degradación anual), lo que conlleva a una pequeña menor producción anual cada año. Sin embargo, todos los módulos que se instalan bajo el PTSP tienen una garantía de potencia de salida de un 80%, igual o superior a la potencia nominal del módulo, después de 25 años de la puesta en operación. A continuación se puede observar la potencia de salida de módulos FV con respecto a la potencia nominal durante su vida útil.

Ilustración 2 Gráfico de potencia de salida de módulos FV con relación a potencia nominal (Fuente: Elaboración propia)

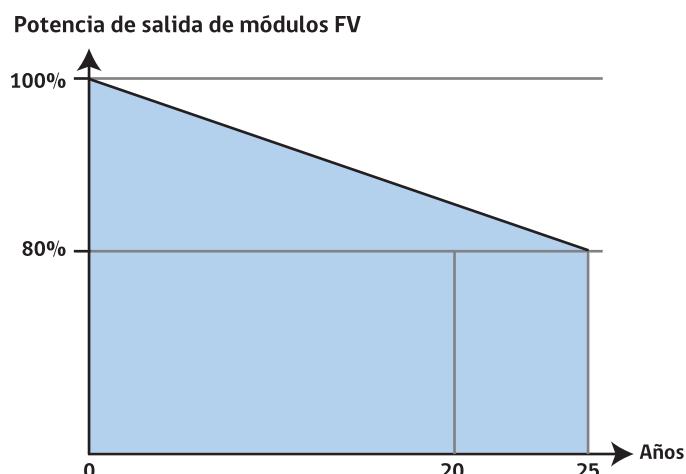


Ilustración 3 Ejemplo módulos en un sistema FV, Teletón Santiago
(Fuente: Ministerio de Energía)



Inversor

Este componente tiene una labor fundamental en el sistema FV, ya que transforma toda la electricidad generada de corriente continua a una alterna, siendo esta última la que circula por las redes de distribución. La tecnología de los inversores ha avanzado rápidamente en cuanto a seguridad y eficiencia; en la actualidad los inversores son capaces de transformar la energía hasta con un 98% de eficiencia.

Ilustración 4 Inversor de 33 kW (Fuente: Ministerio de Energía)



Estructura de soporte de módulos FV

2

También existen estructuras de soportes con seguimiento en uno y dos ejes, las cuales "siguen el movimiento del sol". Sin embargo, no son de común aplicación en cubiertas.

La estructura de soporte² fija de forma segura los módulos FV, en la orientación e inclinación requerida, al techo del inmueble. En una cubierta con una inclinación menor a 10°, los módulos se instalan generalmente de forma inclinada con respecto a la superficie para maximizar la generación de energía. Si la cubierta tiene una pendiente mayor a 10° los módulos pueden quedar fijados paralelos a la superficie.

La forma de fijar la estructura de soporte a la techumbre depende de su materialidad. Si la techumbre es una losa de hormigón armado, el soporte puede

10

fijarse con lastre (ver ilustración 5, derecha) y si la estructura del techo está construida con sistemas reticulares (costaneras o vigas) metálicas o de madera, el sistema de soporte se fijará directamente a estos, con módulos inclinados o paralelos a la cubierta (ver ilustración 5, izquierda).

Ilustración 5 Estructura de soporte de módulos fotovoltaicos inclinados. Izquierda: Planta Fotovoltaica Edificio GAM. Derecha: Planta Fotovoltaica lastrada en Ministerio de Energía (Fuente: Ministerio de Energía)



Ilustración 6 Estructura de soporte de módulos FV paralelos al techo
(Fuente: Ministerio de Energía)



3

Un sistema FV de potencia instalada de 10 kWp cubre el consumo de 8,6 casas, si se considera un consumo eléctrico de 1.800 kWh/año de cada casa y una generación de 15.406 kWh/año del sistema FV en la R.M.

4

La generación eléctrica de un sistema fotovoltaico depende de la inclinación, orientación, latitud, pérdidas y degradación de los módulos.

5

Este valor depende de la tarifa eléctrica dado por la empresa distribuidora.

BENEFICIOS Y EJEMPLOS

Un sistema fotovoltaico ofrece varios beneficios para el usuario, dentro de los cuales destaca el **menor gasto en la cuenta de electricidad**, dado que el consumo de la electricidad se ve disminuido por el uso de la energía FV.

Si, por ejemplo, un sistema fotovoltaico en la R.M. (con 10 kW³ de potencia instalada) genera anualmente 15.406 kWh⁴ aprox., considerando un costo de electricidad de 70 \$/kWh⁵, se tiene que el ahorro anual es de:

$$15.406 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 70 \frac{\$}{\text{kWh}} = 1.078.420 \frac{\$}{\text{año}}$$

Además el uso de la energía solar es un aporte para **mitigar los efectos del cambio climático**, dado que con la generación de energía fotovoltaica se evita la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

Se destaca además, que los sistemas FV son de fácil mantenimiento. Esta consiste principalmente en la limpieza de los módulos y una revisión anual de las conexiones y equipos eléctricos.

A continuación se presentan algunos proyectos instalados dentro del marco de PTSP y sus beneficios:

PROYECTO 1	FISCALÍA LOCAL DE CALAMA
	
Potencia instalada	15 kWp
Generación de energía estimada	28.102 kWh/año
Reducción gases de efecto invernadero	22 ton CO ₂ eq/ año
Contribución energética en base a consumo total	60 %
Inversión	\$ 28.342.989 (c/ IVA)

PROYECTO 2

INSTITUTO TELETÓN CALAMA



Potencia instalada	40 kWp
Generación de energía estimada	70.861 kWh/año
Reducción gases de efecto invernadero	56 ton CO ₂ eq/ año
Contribución energética en base a consumo total	10 %
Inversión	\$ 54.455.485 (c/ IVA)

PROYECTO 3

INSTITUTO TELETÓN SANTIAGO



Potencia instalada	70 kWp
Generación de energía estimada	97.225 kWh/año
Reducción gases de efecto invernadero	35 ton CO ₂ eq/ año
Contribución energética en base a consumo total	10 %
Inversión	\$ 82.130.107 (c/ IVA)

PROYECTO 4

CENTRO CULTURAL GABRIELA MISTRAL



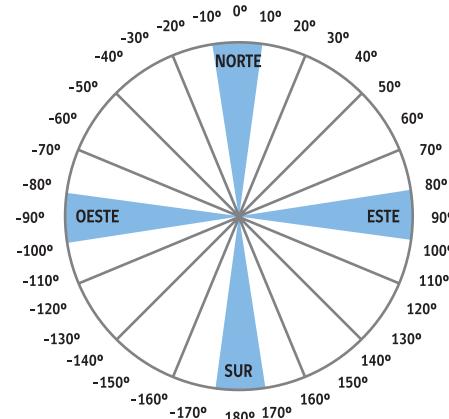
Potencia instalada	100 kWp
Generación de energía estimada	125.000 kWh/año
Reducción gases de efecto invernadero	40 ton CO ₂ eq/ año
Contribución energética en base a consumo total	10 %
Inversión	\$ 106,939,718 (c/ IVA)

¿CUÁNTA ENERGÍA GENERA UN SISTEMA FV?

Un sistema FV genera una cantidad de energía que depende directamente de la radiación solar que recibe y de su capacidad instalada. La energía solar que recibe depende de la latitud en la cual se encuentra, la orientación e inclinación de los módulos.

La **orientación** corresponde al ángulo acimutal, que es el ángulo que parte desde el punto cardinal norte y aumenta en sentido horario de 0° a 360°, o que va de 0° hasta 180° y 0° a -180°, con sentidos que se pueden ver en la ilustración 7.

Ilustración 7 Ángulo Azimut (Fuente: Elaboración propia)

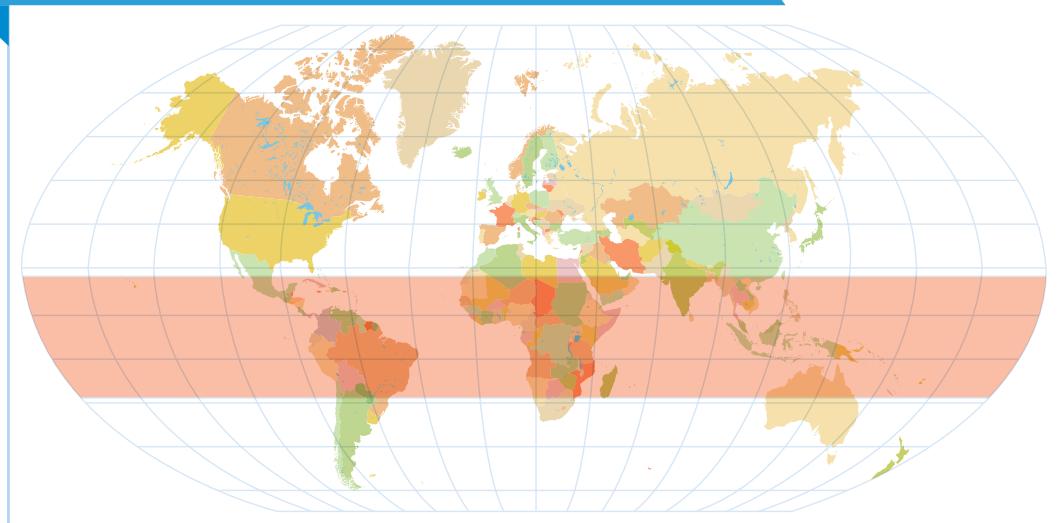


Para aprovechar al máximo la radiación solar con los módulos FV, es deseable que éstos reciban la mayor cantidad de luz solar de manera directa durante el año. Como Chile está ubicado en el hemisferio sur, los módulos FV deben mirar preferentemente hacia el norte, es decir tener una orientación en torno a 0° . La razón de esto es que la tierra gira de tal manera, que el sol se encuentra siempre dentro la franja llamada zona intertropical y estará, para gran parte del país, siempre al norte (ver ilustración 8).

Ilustración 8

Mapamundi con la zona intertropical en rojo

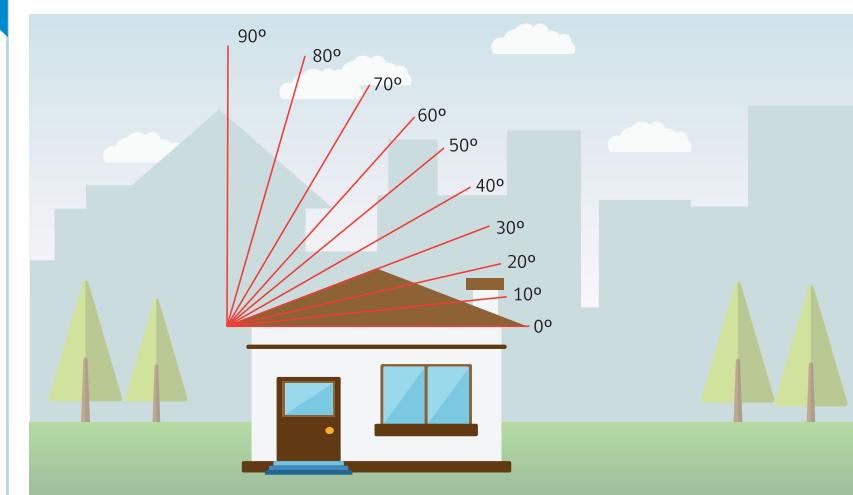
(Fuente: Elaboración propia)



La **inclinación** del techo o de los módulos se mide con respecto a la horizontal, como se puede ver en la siguiente ilustración.

Ilustración 9

Inclinación de techo (Fuente: Elaboración propia)



6

Lo que aquí se presenta es una regla general y es recomendable hacer un análisis caso a caso utilizando la herramienta apropiada (Ej. Explorador Solar), ya que dependiendo de factores climáticos y geográficos las orientaciones e inclinaciones óptimas pueden variar.

7

El PTSP instala sistemas fotovoltaicos con capacidades de hasta 100 kW.

Como primera aproximación, el ángulo de inclinación sugerido para los módulos de un sistema FV es igual a la latitud en donde se ubicarán, ya que con ella se maximiza la generación anual de energía. Generalmente, por motivos de fabricación de las estructuras, las inclinaciones de estas son de 5°, 10°, 20° o 30°, como regla general se pueden usar aquellas que forman un ángulo neto similar a la latitud del lugar⁶. Esto se muestra con mayor detalle en la sección de Orientación e Inclinación del Sistema FV.

La **capacidad instalada** de un sistema FV depende únicamente de la cantidad de módulos FV que se instale. La potencia típica de los módulos varía entre 250 y 310 Wp, los cuales se interconectan en serie o en paralelo para generar una potencia total de hasta cientos de mega watts (MW)⁷. Sin embargo, como se verá en esta guía, existen varios factores que acotan la capacidad que se puede instalar.

Generación de energía

La principal herramienta pública para la estimación de la generación de energía fotovoltaica para el autoconsumo es el "Explorador de Energía Solar para el Autoconsumo". Este sitio web presenta la información pública más detallada que existe actualmente sobre el recurso solar en Chile.

Se puede acceder al explorador y a su manual de uso a través de las siguientes direcciones web:

Explorador: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>

Manual de uso: http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/doc/Manual_Explorador_Solar.pdf

A continuación se muestra un breve ejemplo del uso del Explorador Solar:

En el Explorador Solar, para el cálculo de la generación se requiere ingresar los datos del sistema FV en cada una de las casillas, como se observa en la ilustración 10.

Ilustración 10 Configuración de sistema fotovoltaico
(Fuente: Explorador de Energía Solar, Ministerio de Energía)

CONFIGURAR SISTEMA FOTOVOLTAICO

Tamaño del Sistema Fotovoltaico

Capacidad instalada: Estimar tamaño

Características de la Estructura

Tipo de Arreglo:

Tipo de Montaje:

Inclinación: Optimizar ángulos de instalación

Azimut:

Características del Panel Fotovoltaico

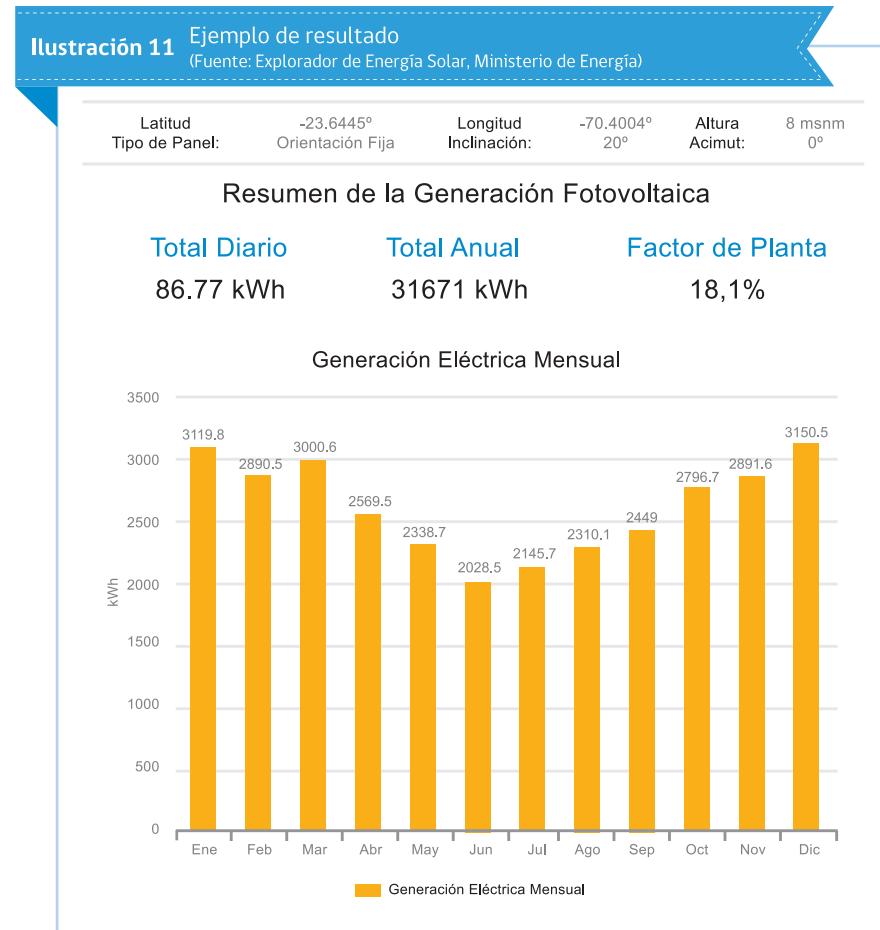
Coefficiente de Temperatura: Cobertura:

Factor de Pérdidas: Eficiencia del Inversor:

Panel fijo

El panel fotovoltaico es instalado en una posición fija con una cierta inclinación (b) respecto del plano horizontal y el eje central de este plano se orienta con un cierto azimut (a) respecto del norte. El usuario debe ingresar los ángulos que definen la posición del panel. Por defecto el panel se orienta hacia el Norte (azimut=0°) con una inclinación igual a la latitud geográfica del sitio. El botón "optimizar ángulos de instalación" calcula los ángulos que maximizan el rendimiento del panel para la localidad seleccionada.

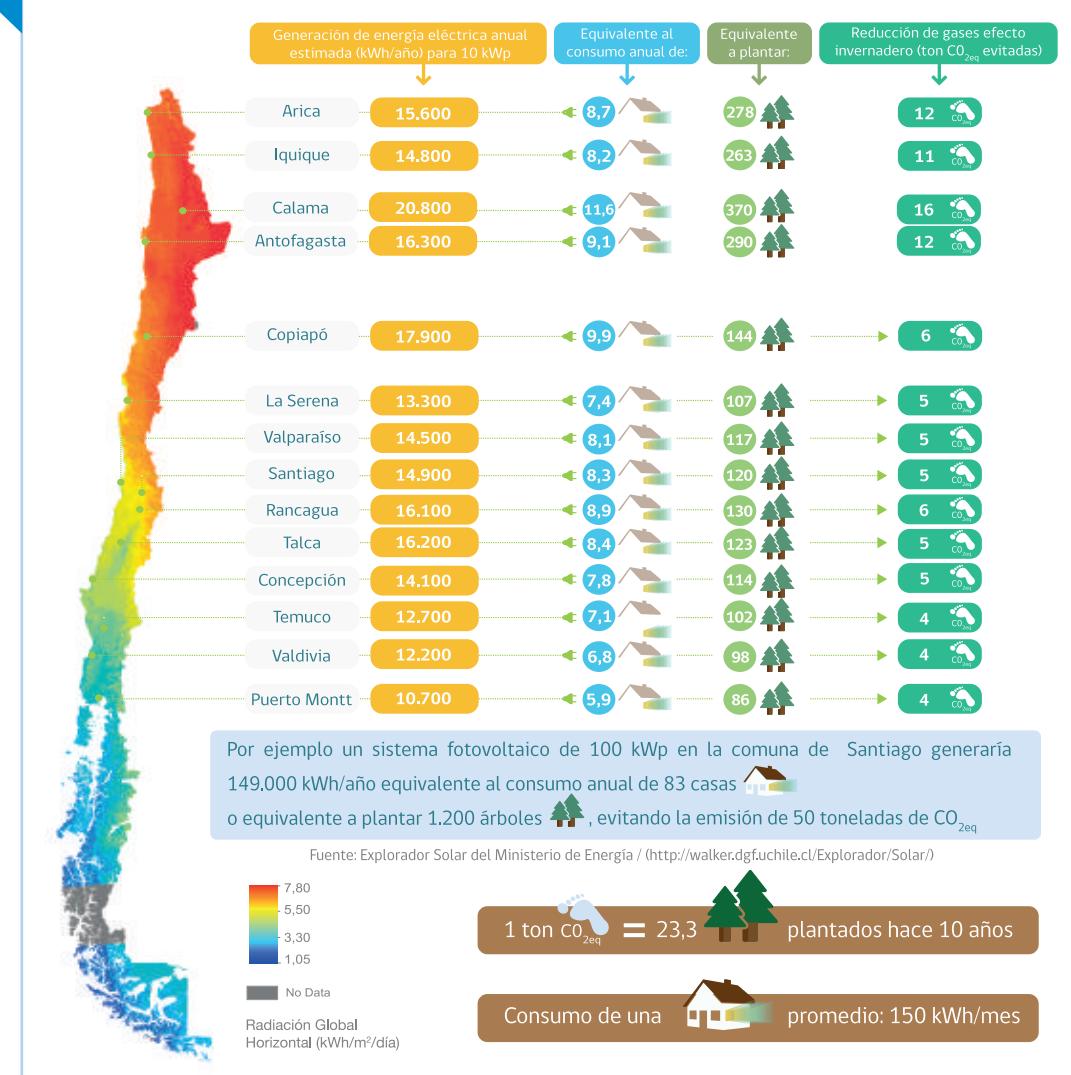
Una vez ingresados los datos y aplicado el cálculo, el Explorador entrega la generación de energía fotovoltaica con un gráfico e información asociada, como se presenta en la siguiente ilustración:



La ilustración 12 presenta los valores de la **generación anual** de energía eléctrica [kWh/año], obtenidos por el Explorador de Energía Solar, de sistemas FV de 10 kWp de capacidad (40 módulos de 250 W cada uno) en distintas ciudades del país.

Además se muestran las equivalencias de consumo y reducción de gases efecto invernadero. Los módulos considerados están orientados hacia el norte y tienen una inclinación igual a la latitud correspondiente.

Ilustración 12 Generación de energía fotovoltaica en distintas ciudades de Chile (Fuente: Ministerio de Energía)



Aspectos de Evaluación



Para realizar la evaluación inicial de un inmueble donde se instalará un sistema fotovoltaico, e identificar su potencial, se deben revisar los aspectos del siguiente diagrama.



PROPIEDAD Y USO DEL INMUEBLE

Es importante asegurar que los ahorros generados por el sistema FV son para la institución en el largo plazo, ya que los sistemas FV tienen una larga vida útil. Por otra parte, hay que considerar que conectar un sistema fotovoltaico a través de ley 20.571, involucra firmar un contrato entre el dueño del inmueble y la distribuidora. Por estas razones, para instituciones públicas, es recomendable que se cumplan los siguientes aspectos:

- Ser dueño del inmueble, tener la destinación de la administración del edificio o tener un contrato de arriendo con opción de compra (leasing).
- Si el edificio es arrendado, se debe mantener a la fecha un contrato por un periodo igual o superior a 15 años.
- Si el edificio es un monumento nacional, se debe contar con el permiso del Consejo de Monumentos Nacionales para realizar intervenciones.

- No tener concesionada la operación del servicio que presta a una institución privada.
- No compartir la propiedad del edificio con instituciones privadas.
- No se debe proyectar el traslado del servicio a otro edificio diferente en los próximos 15 años.
- No se deben proyectar intervenciones en el área prevista para la instalación del proyecto.
- Conocer o averiguar la existencia de nuevas edificaciones aledañas en el entorno que pudieran generar en un futuro, sombras en un eventual sistema fotovoltaico, como puede ser la construcción de un nuevo edificio.

POTENCIAL FV PARA EL AUTOCONSUMO

La potencia instalada de un sistema fotovoltaico para el autoconsumo depende, entre otros aspectos, del consumo eléctrico del inmueble, ya que el objetivo principal es disminuir el consumo del edificio e inyectar la menor cantidad de excedentes a la red. En esta sección se explica la interacción del sistema FV con el consumo del edificio y como se dimensiona un sistema FV teniendo en consideración el autoconsumo.

Generación de energía fotovoltaica para el autoconsumo

La radiación solar depende de la hora del día, la época del año y las condiciones climáticas. Durante un día sin nubes, la radiación aumenta durante la mañana hasta llegar a su máximo entre 12 a 14 horas y disminuye nuevamente durante la tarde.

8

La experiencia del PTSP muestra que la mayoría de los medidores digitales cuentan con la capacidad de ser "bidireccional", solo se necesita una reprogramación en terreno, que puede realizar la compañía distribuidora.

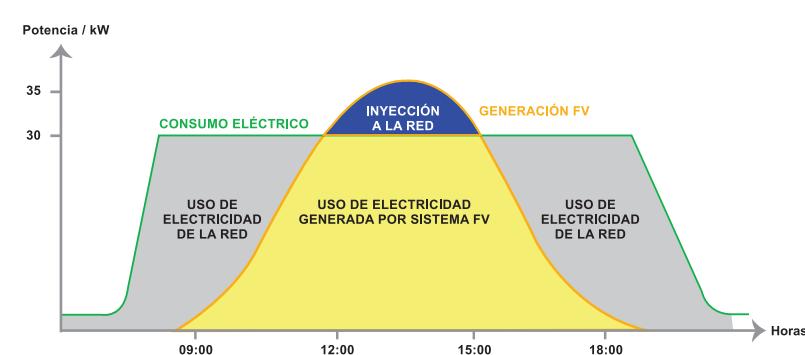
Cuando la **generación de energía FV es mayor al consumo eléctrico del inmueble**, los excedentes de energía se inyectan a la red eléctrica, los que serán contabilizados por un medidor bidireccional⁸. En el segundo caso, cuando el **consumo eléctrico es mayor que la generación de energía FV**, la electricidad consumida es toda la energía generada por el sistema fotovoltaico más la energía de la red.

En la siguiente ilustración se grafica el uso de la energía eléctrica de un establecimiento que usa la electricidad de un sistema fotovoltaico para el autoconsumo e inyecta los excedentes a la red.

Durante un año este gráfico irá cambiando diariamente considerando que el consumo puede ser muy variable, sobretodo en establecimientos donde disminuye el consumo de electricidad sábados y domingos o durante periodos de vacaciones, como por ejemplo en establecimientos educacionales. Es por esto que es importante analizar un balance anual.

La curva amarilla representa la generación de energía FV y la verde el consumo eléctrico. Los excedentes de la energía FV (en azul) son inyectados a la red. Cuando el consumo eléctrico es mayor que la generación FV se consume adicionalmente la electricidad que proviene de la red (gris)

Ilustración 13 Gráfico simplificado del uso de energía eléctrica en un establecimiento con un sistema FV instalado (Fuente: Elaboración propia)

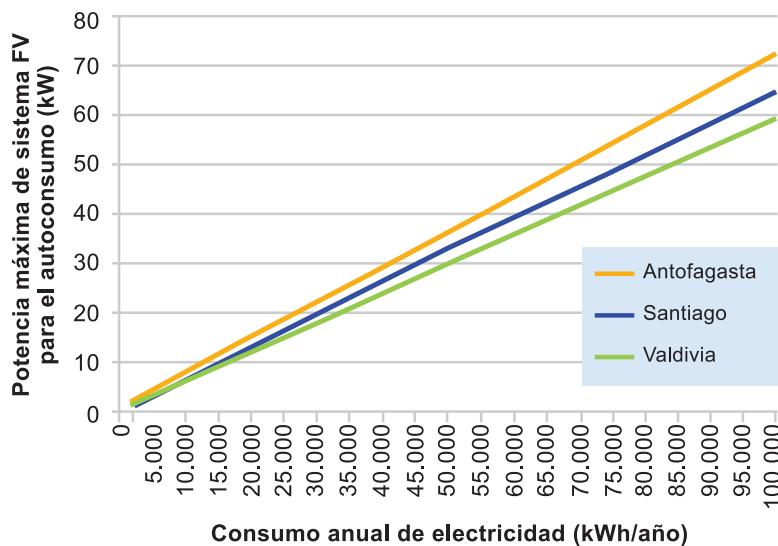


En el marco del Programa de Techos Solares Públicos, la energía FV se utiliza principalmente para el autoconsumo. Como criterio para dimensionar los sistemas se solicita que la potencia FV instalada debe ser tal que la generación anual de energía FV no supere el consumo eléctrico anual del inmueble.

Para calcular la potencia máxima de un sistema FV limitada por el consumo eléctrico se debe dividir el consumo anual de electricidad (unidad) por la generación del sistema FV, dato obtenido del Explorador Solar (unidad).

$$\text{Potencia máxima de un sistema FV (kW)} = \frac{\text{Consumo eléctrico anual (} \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \text{)}}{\text{Generación de energía fotovoltaica (} \frac{\text{kWh}}{\text{kWp*año}} \text{)}}$$

Ilustración 14 Gráfico de consumo eléctrico anual de establecimiento (kWh) v/s potencia máxima de un sistema FV (kW) (Fuente: Elaboración propia)



A continuación se presenta un gráfico de la potencia máxima de un sistema FV y el consumo eléctrico de un establecimiento, cuyas estimaciones de generación fotovoltaica fueron calculadas a través del Explorador Solar, presentado en la Tabla 1.

Tabla 1 Generación de Energía FV en distintas ciudades de Chile para un sistema FV de 1 kWp (Fuente: Explorador Solar)

Ciudad	Generación de Energía FV [kWh/kWp* año]	Ciudad	Generación de Energía FV [kWh/kWp* año]
Arica	15.556	Santiago	14.880
Iquique	14.832	Rancagua	16.094
Calama	20.821	Talca	15.150
Antofagasta	16.310	Concepción	14.105
Copiapó	17.892	Temuco	12.722
La Serena	13.270	Valdivia	12.204
Valparaíso	14.464	Puerto Montt	10.690

Nota: La información presentada considera "la vista rápida" entregada por el Explorador de Energía Solar, el cual considera módulos orientados hacia el norte y con un inclinación similar a la latitud. Para una mejor precisión se recomienda realizar una simulación en el emplazamiento exacto de la planta.

EVALUACIÓN DE TECHOS DISPONIBLES

Los sistemas FV conectados a la red se integran al techo existente del inmueble. Para que esto sea posible se necesitan tres condiciones básicas: (1) que el techo esté diseñado de acuerdo a la normativa de construcción vigente en Chile, (2) que todos sus componentes estén en buenas condiciones y (3) que la techumbre esté compuesta por materiales compatibles con la instalación de un sistema FV. Una vez cumplidos estos requisitos es posible evaluar aspectos específicos del área disponible y su orientación para identificar su potencial.

Normativa de Construcción

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo (www.minvu.cl) a través de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y sus normas técnicas, define los estándares técnicos mínimos de diseño y construcción de todos los inmuebles. Por motivos de seguridad es importante verificar que el techo propuesto cumpla con la normativa ya que al incorporar un sistema FV se están agregando cargas permanentes (peso) al techo. Entonces es relevante asegurar que después de la implementación del proyecto se siga cumpliendo con esta normativa.

9

Según corresponda, de acuerdo a la NCH1537 Of. 2009. Lo anterior debido a que la carga mínima es de 100 [kgf/m²] y varía de acuerdo al porcentaje de pendiente del techo y el área tributaria que soporta el elemento estructural, hasta a un mínimo de 30 [kgf/m²].

Los principales aspectos a verificar de esta norma son los siguientes:

- Como mínimo el techo fue diseñado para una sobrecarga de techo de 30 [kgf/m²]⁹.
- Que el techo fue diseñado considerando, al menos, las cargas aplicables de uso, viento, nieve y sismo.

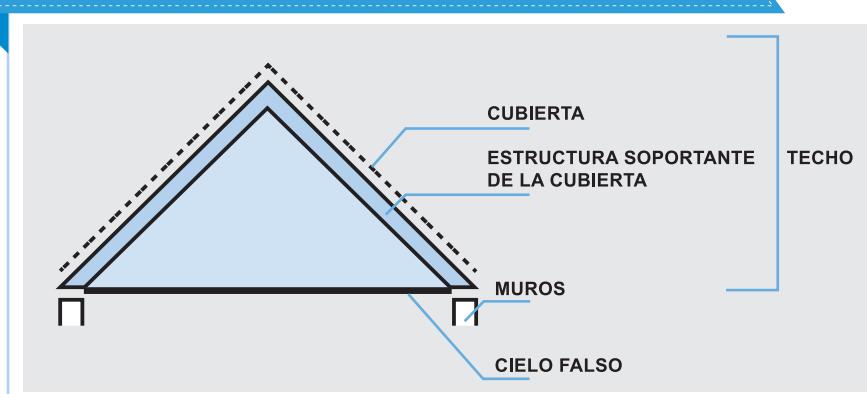
Considerando que la estructura de soporte y los módulos FV pesan aproximadamente entre 15–20 kgf/m², los techos que se hayan construido de acuerdo a la normativa son, en principio, viables para instalar un sistema FV.

Cabe destacar que es muy improbable que los techos de los inmuebles no se construyan bajo la normativa vigente. Sin embargo, si se han detectado casos en donde estructuras metálicas como patios de sombra o multicanchas techadas no han cumplido la normativa. Dicho lo anterior, se sugiere que la zona a intervenir tenga recepción definitiva por parte de la Dirección de Obras Municipales (DOM) o realizar un análisis caso a caso para los proyectos.

Techos en buen estado

Un techo se compone de una cubierta, una estructura soportante y del material de la construcción (Muros). Para la instalación de un sistema FV se recomienda que estos componentes estén en buenas condiciones, cuyas características son presentadas a continuación.

Ilustración 15 Esquema de un techo (Fuente: Elaboración Propia)

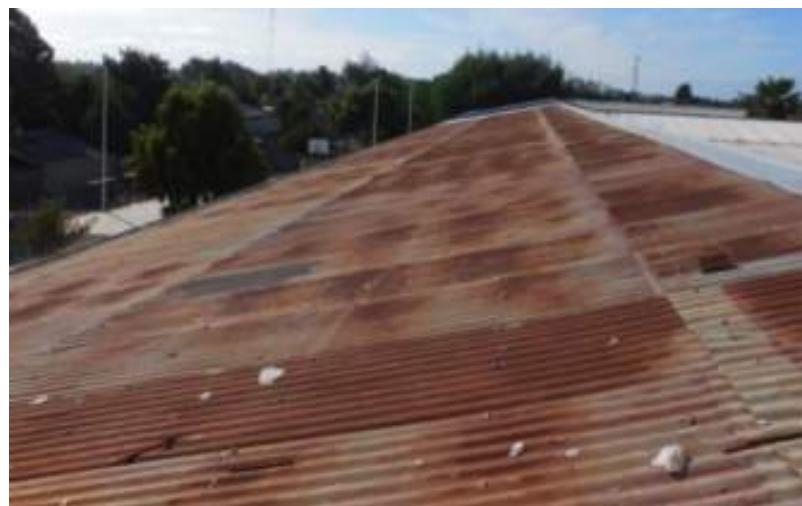


- **Techumbre:** Parte de una edificación que comprende desde el cielo del recinto más elevado hasta la cubierta; es el conjunto de la estructura y la cubierta;
- **Cubierta:** es aquella parte exterior de la techumbre de un edificio, que lo asila y evita el paso de lluvia, nieve, sol, etc. Por lo anterior, una buena cubierta debe satisfacer ciertas condiciones básicas tales como: ser impermeable al agua, resistente a la acción de la intemperie, y en lo posible, ser también un obstáculo a la propagación del fuego; además, debe tener poco peso y una vida útil lo más larga posible [1].
- **Estructura soportante de la cubierta:** Es la destinada a soportar sobre sí a la cubierta y todas las otras solicitudes a que se ve sometida la techumbre. Generalmente, en viviendas se utiliza madera como estructura soportante,

para edificaciones de mayor luz se utiliza acero y en otros casos se usa también hormigón armado [1].

Para evaluar el estado del techo el principal criterio que se utiliza es que estos, no tengan deterioros evidentes que necesiten reparaciones inmediatas. Estos deterioros pueden darse en el material de la edificación, en la estructura del techo o en la cubierta. Se debe considerar que una vez que se instala un sistema FV las reparaciones de los techos son muy difíciles de realizar, por lo que es importante que la edificación, estructura y cubierta no tengan daños como goteras, corrosión, erosión, oxidación, desprendimientos de material, perforaciones o grandes manchas por la humedad, entre otros.

Ilustración 16 Techumbre oxidada (Fuente: Ministerio de Energía)



Techumbres incompatibles

Según la experiencia del PTSP, existen dos materiales incompatibles con la instalación de un sistema FV: el fibrocemento (pizarreño) presente en las cubiertas y el adobe usado como material de construcción. Adicionalmente, las techumbres que tengan formas curvas también pueden ser incompatibles.

8

Según corresponda, de acuerdo a la NCH1537 Of. 2009, Lo anterior debido a que la carga mínima es de 100 [kgf/m²] y varía de acuerdo al porcentaje de pendiente del techo y el área tributaria que soporta el elemento estructural, hasta a un mínimo de 30 [kgf/m²].

El fibrocemento usado como terminación de las cubiertas es un material demasiado frágil, lo cual no permite una adecuada perforación para la fijación de la estructura de soporte, adicionalmente, su manipulación puede ser peligrosa ya que puede contener asbestos. Por lo cual, se recomienda no intervenir cubiertas de fibrocemento.

Ilustración 17 Fotografía de cubierta de pizarreño (Fuente: Ministerio de Energía)



Los materiales de construcción compatibles con la instalación de un sistema FV se pueden desprender de la NCh433 Of. 1996 Mod. 2009, i.e. hormigón armado, acero estructural, madera estructural (incluye madera laminada encolada), albañilería armada y albañilería confinada. Cualquier otra materialidad se deberá evaluar por un profesional competente. Por otra parte, los inmuebles que tengan como material de construcción adobe, deben ser descartados, ya que el adobe no es capaz de soportar las cargas que genera un sistema FV.

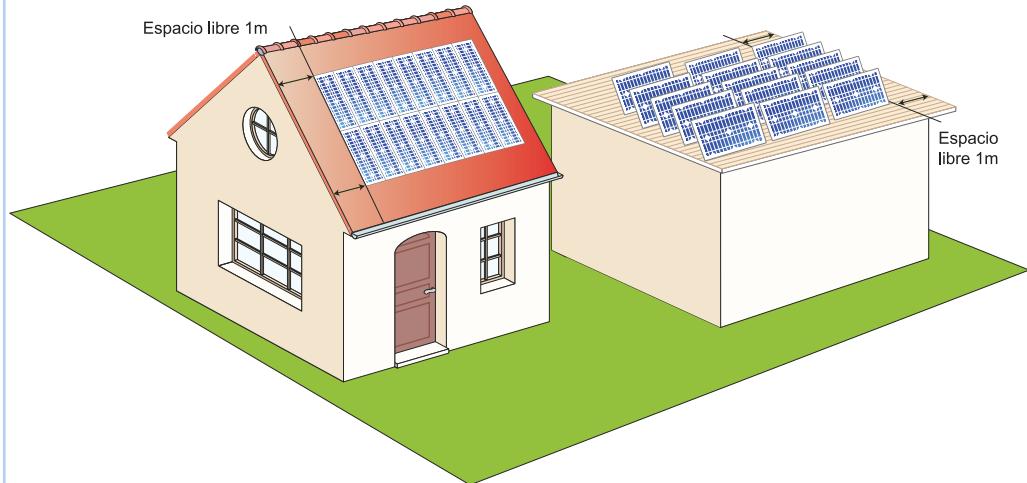
Las techumbres curvas, usadas más frecuentemente como patios de sombra o multicanchas techadas, se descartan para efectos del PTSP ya que requieren un análisis detallado caso a caso y un sistema de montaje a la medida para su instalación.

En general, los mejores techos para instalar una planta fotovoltaica son de losa de hormigón armado o cubierta y estructura metálica que tienen poca antigüedad, ya que han estado menos propensos a deterioros.

Area mínima disponible

Para tener una estimación de cuanta potencia se puede instalar de acuerdo a la superficie disponible, hay que revisar si las características del techo permiten instalar los módulos FV paralelos al techo o inclinados, como se muestra en la ilustración 18. Como se revisó en la introducción, si el techo tiene una inclinación cercana a la óptima, los módulos se pueden instalar paralelos a la cubierta, en cambio si el techo es plano se deben inclinar los módulos FV utilizando una estructura de soporte inclinada.

Ilustración 18 Izquierda: Módulos instalados paralelo a la cubierta. Centro y Derecha: Módulos instalados inclinados sobre una cubierta plana



10

En el caso de un techo inclinado el sistema fotovoltaico se prefiere instalar en el lado norte.

En el caso que los módulos se instalen paralelo a la cubierta¹⁰, el área necesaria para instalar un sistema FV está dada principalmente por la superficie que utilizan los módulos FV. En general, cada módulo tiene una potencia nominal entre 250 - 310 [W] (0,25-0,31 kW) y tiene dimensiones entre 1,6 x 1,0 hasta 1,95 x 1,0 [m]. La Tabla 2 muestra el resultado del cálculo de la superficie necesaria para instalar un sistema FV de distintas potencias, utilizando un módulo de 250 [W].

Tabla 2 Área mínima en un techo inclinado para la instalación de un sistema fotovoltaico, incluye espacio para bordes (Fuente: Elaboración propia)

kW instalados	Área libre en techo
5	60 m ²
10	100 m ²
20	210 m ²
50	500 m ²
100	990 m ²

11

Como regla general, la distancia mínimas entre filas debe considerar evitar sombras entre 10 am y 2 pm en el solsticio de invierno.

Para los techos planos en donde se proyecta un sistema FV con los módulos inclinados, el área requerida no es rápidamente determinable, ya que se debe considerar un espacio entre filas para que no se generen sombras¹¹. La Tabla 3 presenta el espacio entre filas que se debe considerar para sistemas FV inclinados en algunas ciudades de Chile.

Tabla 3 Espacio entre filas para un sistema FV inclinado sobre techo, asumiendo un módulo de 1,6 x 1 m, en distintas ciudades de Chile

	Arica	Antofagasta	La Serena	Santiago	Concepción	P. Montt
Espacio entre filas	0,36 [m]	0,55 [m]	0,87 [m]	1,09 [m]	1,47 [m]	2,09 [m]

(Fuente: Elaboración propia)

Este espacio entre filas explica la variación de la superficie necesaria para un sistema FV en distintas zonas geográficas del país. La Tabla 4 muestra el valor de las áreas para un techo rectangular, dejando un metro libre a los bordes, para paneles de 250 W de 1,6 x 1 m, inclinados sobre una superficie horizontal. El área mínima para postular al PTSP depende de la latitud y debe ser tal que se pueda instalar una capacidad de 10kW.

Tabla 4 Área mínima libre en techo para la instalación de un sistema FV orientado al norte e inclinado (Fuente: Elaboración propia)

En distintas ciudades de Chile, con módulos FV de 250 W de 1,6 x 1 m

Potencia	Arica	Antofagasta	La Serena	Santiago	Concepción	P. Montt
5 [kWp]	61 [m ²]	64 [m ²]	70 [m ²]	74 [m ²]	82 [m ²]	94 [m ²]
10 [kWp]	121 [m ²]	128 [m ²]	140 [m ²]	149 [m ²]	164 [m ²]	189 [m ²]
20 [kWp]	240 [m ²]	254 [m ²]	277 [m ²]	294 [m ²]	323 [m ²]	372 [m ²]
50 [kWp]	590 [m ²]	624 [m ²]	681 [m ²]	720 [m ²]	791 [m ²]	910 [m ²]
100[kWp]	1.173 [m ²]	1.239 [m ²]	1.351 [m ²]	1.429 [m ²]	1.568 [m ²]	1.803 [m ²]

Dentro de la estimación de la superficie necesaria para instalar un sistema FV, se debe descartar toda superficie que tenga sombra, temporal o permanente. Las **sombbras** sobre los módulos fotovoltaicos son especialmente perjudiciales, no solo evitan que se genere energía, sino que también pueden generar que los módulos fotovoltaicos se sobrecalienten, lo que acorta su vida útil.

Existen dos tipos de sombra: las sombras externas y las internas. Las sombras externas son producidas por elementos no propios del edificio como árboles, edificaciones cercanas, entre otros (ver ilustración 19).

Ilustración 19 Sistema FV con sombra externa, producida por un árbol cercano al edificio (Fuente: Ministerio de Energía)



Las sombras internas son generadas por elementos que se encuentran en el techo; los más comunes son equipos de enfriamiento, ventilación y muros del mismo edificio (ver ilustración 20).

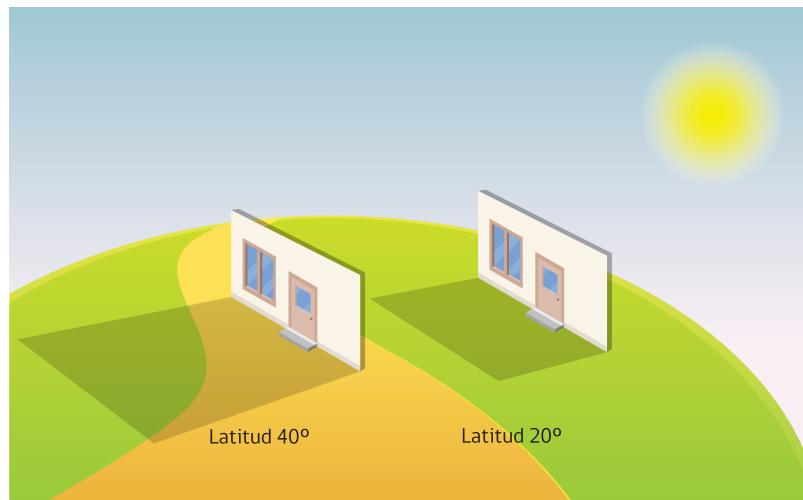
Ilustración 20 Sistema FV con sombra interna generada por un equipo de climatización (Fuente: Ministerio de Energía)



Dado que en una zona geográfica con latitud baja la altura percibida del sol es mayor, la sombra generada por un objeto es menor que la sombra del mismo objeto en una mayor latitud. Esto se ilustra en la siguiente ilustración.

Ilustración 21 Sombras generadas por un muro de dimensiones iguales en un mismo momento en latitudes distintas. (Fuente: Elaboración propia)

Mientras mayor es la latitud, mayor es la sombra generada. Arica y Puerto Montt se encuentran cerca de la latitud 20° y 40° respectivamente



La siguiente tabla presenta una estimación de cuanta sombra genera un objeto por cada metro de altura en distintas ubicaciones.

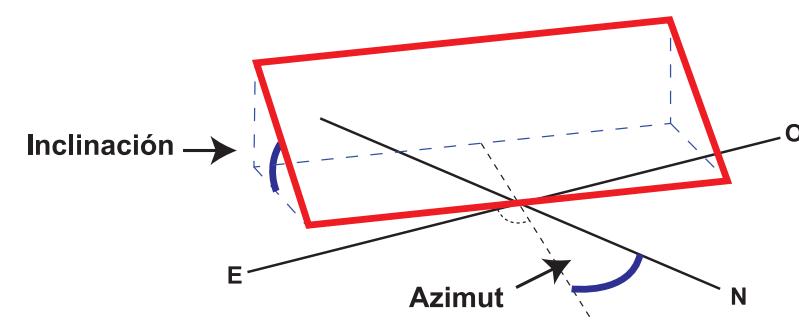
Tabla 5 Sombra generada por un objeto por cada metro de altura en distintas ciudades de Chile (Fuente: Elaboración Propia)

	Arica	Antofagasta	La Serena	Santiago	Concepción	P. Montt
Longitud	1,12 [m]	1,35 [m]	1,74 [m]	1,99 [m]	2,44 [m]	3,13 [m]

Orientación e inclinación del Sistema FV

Para tener un buen rendimiento, el sistema fotovoltaico deberá recibir la mayor cantidad de radiación solar durante el año, por lo que la orientación e inclinación de los módulos FV deben ser determinadas de manera de maximizar el rendimiento del sistema FV, considerando además los costos de instalación y la carga de viento sobre los módulos inclinados. Como el Programa Techos Solares Públicos opera en edificios ya construidos, orientaciones noreste y noroeste son igualmente elegibles, aunque producen menos energía durante el año. La inclinación y el ángulo azimut (orientación) son los que definen la posición de un panel solar y son las que se encuentran a continuación:

Ilustración 22 Inclinación y orientación (ángulo azimut) de un panel solar
(Fuente: Explorador de Energía Solar)



12

Como regla general o primera aproximación, se sugiere proyectar los módulos FV hacia al norte e inclinarlos con una ángulo similar a la latitud. Sin embargo, debido a factores climáticos y geográficos la orientación óptima puede ser distinta.

Las Tablas 6, 7 y 8 representan las pérdidas de generación con respecto a la posición sugerida¹² de un módulo fotovoltaico (Orientación 0° e inclinación igual a la latitud del lugar de instalación), producidas por inclinación y orientación distintas en diferentes regiones de Chile. La orientación se encuentra en la fila superior y la inclinación aparece en la tabla como "Ángulo" y se encuentra en la columna izquierda. La inclinación de referencia en las primeras tres regiones es de 20°, mientras que hasta la región del Maule este ángulo es de 30°, aproximadamente. La orientación sugerida es de 0° (norte), pero su rango permisible en las regiones del norte de Chile es más amplio que en el sur, dada la mayor altura del sol en esta zona. Como los techos que serán utilizados dentro del PTSP ya se encuentran construidos, se debe determinar cómo afecta la combinación de la orientación y la inclinación en la generación de energía de los sistemas fotovoltaicos. **Una instalación que quiere postular al Programa Techos Solares Públicos debe estar dentro de la zona azul y celeste marcada en estas tablas, es decir, con una pérdida menor a los 10% de la máxima generación dependiendo de la orientación e inclinación.**

Tabla 6 Diferencia porcentual de generación de energía para una orientación e inclinación específica versus el óptimo de referencia

Aplica para las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá, Antofagasta y Atacama.

(Fuente: Elaboración Propia, en base a simulaciones en el Explorador Solar del Ministerio de Energía, datos de Calama)

Orientación / Ángulo	270°	280°	290°	300°	315°	325°	0°	35°	45°	60°	70°	80°	90°
5°	6,4%	6,6%	6,3%	5,9%	4,6%	4,2%	3,7%	4,1%	4,3%	5,7%	6,1%	6,3%	7,0%
10°	7,7%	7,1%	6,2%	5,1%	3,9%	3,1%	2,2%	2,9%	3,6%	4,8%	5,8%	6,6%	7,3%
20°	10,1%	8,6%	6,9%	5,1%	3,0%	1,4%	0,0%	1,3%	2,5%	4,5%	6,1%	7,8%	9,3%
30°	13,4%	10,8%	8,5%	6,6%	4,0%	1,4%	0,1%	1,3%	3,3%	5,7%	7,8%	10,0%	12,5%
40°	17,3%	14,4%	11,8%	9,3%	6,6%	4,2%	2,4%	3,3%	5,4%	8,4%	10,5%	13,1%	15,8%
45°	19,3%	16,3%	13,6%	11,0%	8,4%	7,0%	4,5%	6,2%	7,2%	9,3%	12,2%	15,1%	17,3%

Aplica para las regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana.

(Fuente: Elaboración Propia, en bases a simulaciones en el Explorador Solar del Ministerio de Energía, datos de Santiago)

Aplica para las regiones de O'Higgins y Maule.

(Fuente: Elaboración Propia, en bases a simulaciones en el Explorador Solar del Ministerio de Energía, datos de Parral)

Tabla 7 Diferencia porcentual de generación de energía para una orientación e inclinación específica versus el óptimo de referencia

Orientación / Angulo	270°	280°	290°	300°	315°	325°	0°	35°	45°	60°	70°	80°	90°
5°	8,9%	8,3%	7,8%	7,4%	6,7%	4,2%	3,7%	4,1%	4,3%	5,7%	6,1%	6,3%	7,0%
10°	9,3%	9,1%	8,6%	6,3%	5,1%	4,5%	3,6%	5,0%	8,5%	7,1%	8,1%	9,1%	8,9%
20°	11,1%	8,2%	7,2%	5,4%	3,3%	2,1%	0,7%	3,1%	4,5%	6,9%	8,7%	10,7%	12,7%
30°	14,0%	11,1%	8,5%	6,2%	3,3%	1,8%	0,0%	3,2%	5,0%	8,1%	10,6%	13,3%	16,1%
40°	17,7%	14,2%	11,1%	8,4%	5,2%	3,6%	1,7%	5,3%	7,3%	10,9%	13,7%	16,8%	20,2%
45°	19,8%	16,1%	12,9%	10,1%	6,8%	5,2%	3,4%	7,1%	9,0%	12,7%	15,6%	18,9%	22,5%

Tabla 8 Diferencia porcentual de generación de energía para una orientación e inclinación específica versus el óptimo de referencia

Orientación / Angulo	270°	280°	290°	300°	315°	325°	0°	35°	45°	60°	70°	80°	90°
5°	10,6%	10,1%	9,5%	9,0%	8,3%	8,0%	7,6%	8,4%	8,8%	9,6%	10,1%	11,3%	
10°	10,9%	9,8%	8,7%	7,7%	6,4%	5,8%	5,0%	6,6%	7,4%	8,8%	9,9%	12,3%	
20°	12,4%	10,1%	8,1%	6,2%	3,9%	2,8%	1,4%	4,3%	5,8%	8,4%	10,5%	14,8%	
30°	14,8%	11,7%	8,8%	6,3%	3,3%	1,7%	0,0%	3,8%	5,8%	9,4%	12,1%	18,1%	
40°	18,1%	14,3%	10,9%	7,9%	4,4%	2,7%	0,9%	5,3%	7,6%	11,7%	14,8%	21,9%	
45°	20,0%	15,9%	12,3%	9,2%	5,6%	3,9%	2,2%	6,8%	9,1%	13,3%	16,5%	24,0%	

EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Los sistemas FV conectados a la red se integran a la instalación eléctrica del inmueble existente. Para que lo anterior sea posible, existen dos condiciones básicas que se deben cumplir para no incurrir en adecuaciones mayores que impliquen sobre costos en los proyectos.

- El sistema FV proyectado no debe superar la potencia conectada del inmueble, y
- La instalación eléctrica interior debe estar de acuerdo a la normativa de instalaciones eléctricas en baja tensión.

Potencia conectada del inmueble

13

El valor de la potencia conectada se encuentra en la boleta de la electricidad en los datos del cliente.

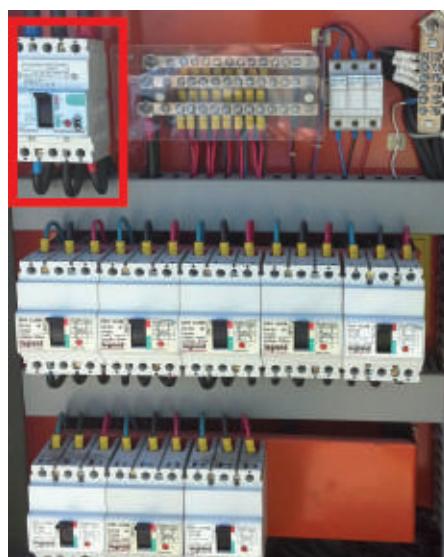
14

Recordar que en el marco del PTSP la potencia mínima de un sistema FV es de 10 kW.

A pesar de que se tenga una superficie disponible que permita instalar una gran capacidad, no es posible instalar un sistema FV con una potencia mayor a la potencia conectada del inmueble, sin recurrir en gastos adicionales. Si, por ejemplo, la potencia conectada de un recinto¹³ es de 10 kW, la capacidad máxima de un sistema FV debe ser menor a 10 kW¹⁴, por tanto no podría postular al PTSP.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red necesitan un punto para inyectar la energía a la instalación eléctrica interior del inmueble. Este “punto de inyección” es un tablero eléctrico (general o de distribución) que debe estar en buen estado y debe estar diseñado para soportar la potencia que tendrá el sistema fotovoltaico.

Ilustración 23 Tablero general de un establecimiento.
(Fuente: Ministerio de Energía)



La protección de un tablero eléctrico, marcada en rojo en la ilustración 23, indica la corriente máxima que se puede conectar al tablero y determina, por lo tanto, el tamaño máximo del proyecto.

La protección del tablero (marcada en rojo) indica el valor máximo de corriente eléctrica permitida

15

Esta normativa se encuentra actualmente en revisión.

La potencia máxima de un sistema FV, que se conectará a un tablero eléctrico, se calcula con el valor de la corriente máxima permitida por el tablero (ver ilustración 23). Si el tablero es monofásico se usa la siguiente ecuación:

$$P = I * V * \cos(\varphi)$$

Si el tablero es trifásico:

$$P_3 = \sqrt{3} * I * V * \cos(\varphi)$$

donde I es la corriente [A] que es capaz de soportar el tablero, V es el voltaje de la corriente (220 V) y $\cos(\varphi)$ es el factor de potencia, que tiene un valor aproximado de 0,98.

Si, por ejemplo, un tablero trifásico que se usará para conectar un sistema FV, puede soportar una corriente de 125 A y el voltaje es de 220 V se tiene:

$$P_3 = \sqrt{3} * 125 \text{ A} * 220 \text{ V} * 0,98 = 46,7 \text{ kW}$$

Es decir, se podría instalar un sistema FV de un máximo de 46,7 kW de capacidad.

Norma de Electricidad

En Chile todas las instalaciones eléctricas de los inmuebles se diseñan y ejecutan de acuerdo con lo dispuesto en la Norma Chilena de Electricidad 4/2003¹⁵. Esta fija las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en baja tensión.

A pesar que los sistemas FV no producen problemas adicionales a las instalaciones eléctricas existentes, no es recomendable proyectar una instalación adicional donde no se tienen las condiciones mínimas de seguridad que indica la normativa.

Para revisar el estado de la instalación eléctrica actual se pueden verificar los siguientes aspectos de la Norma 4/2003:

- Los tableros deben cumplir con un volumen de espacio libre de 25% para proveer de ampliaciones.
- Los Alimentadores y Subalimentadores cumplen con el dimensionamiento y canalización adecuada.

- Los conductores de los circuitos deben quedar protegidos por la capacidad del disyuntor.
- Los circuitos que contienen enchufes deben disponer de protección diferencial.
- Los tableros deben contar con una cubierta, que cubra equipo, puerta exterior y terminales.
- Los tableros cuentan con barras de distribución las cuales tienen disponibilidad y están bien dimensionadas.
- Las partes metálicas de la instalación se encuentran protegidos contra tensiones peligrosas.
- Existe continuidad de conductores de protección.
- Los tableros deben estar rotulados y contar con luces piloto.
- El recinto debe contar con un sistema de puesta a tierra de acuerdo a la norma (máximo 20 ohm).

En inmuebles más antiguos se pueden encontrar casos en que las instalaciones eléctricas no están cumpliendo la normativa actual, en donde probablemente no ejecutaron apropiadamente ampliaciones y modificaciones. Así mismo, en inmuebles de poca antigüedad es normal encontrar que la instalación está bajo norma.

A continuación se muestran ejemplos de tableros que no están bajo la normativa:

Ilustración 24 Izquierda y Centro: Tableros desordenados y con cables con cobre a la vista, Derecha: Tablero con enchufes e interruptores



(Fuente: Ministerio de Energía)

Distancia hasta el punto de inyección

Una última evaluación que se puede considerar es la distancia del sistema fotovoltaico hasta el punto de inyección, que puede ser un tablero eléctrico de distribución o el tablero general. Por un tema de costos y seguridad conviene que esta distancia sea la menor posible. Se recomienda que las eventuales canalizaciones desde el techo seleccionado hasta el punto de conexión, no incrementen los costos del proyecto significativamente.

Anexo A: Checklist de evaluación inicial

16

Especialmente importante para instituciones públicas.

Propiedad y Uso del Inmueble¹⁶

- Se es dueño del inmueble, se tiene la administración del edificio o se tiene un contrato de arriendo con opción de compra (leasing) por más de 15 años.
- Se tiene autorización del dueño del inmueble para la instalación de un sistema FV.
- Si el edificio es un monumento nacional, se cuenta con el permiso del Consejo de Monumentos Nacionales para realizar intervenciones.
- No se proyectan intervenciones en el área prevista y futuras edificaciones aledañas en el entorno que pudieran generar sombras.

Potencial FV para el autoconsumo

- Se ha examinado el consumo de energía eléctrica del inmueble para proyectar un potencial sistema FV para el autoconsumo.

Evaluación de los Techos Disponibles

- El edificio y los techos fueron diseñados de acuerdo a la Normativa de Construcción vigente en Chile.
- El techo donde se instalará el sistema FV se encuentra en buen estado.
- El techo donde se instalará el sistema FV no tiene materiales incompatibles.
- La techumbre tiene un área mínima disponible homogénea y libre de sombras.
- El sistema FV proyectado tiene una orientación e inclinación donde su generación de energía no disminuye más de un 10% respecto al óptimo.

Conección eléctrica

- La potencia conectada del inmueble o el tablero donde se inyectará la energía tiene la capacidad necesaria para instalar un sistema FV.
- El tablero donde se inyectará la energía se encuentra bajo la Norma NCH 4/2003.
- La distancia desde el sistema FV proyectado hasta el punto de inyección, no incrementan los costos del proyecto significativamente.

Dimensionamiento

Aspectos	Potencia máxima del sistema FV según aspecto evaluado [kWp]
Potencial FV para el autoconsumo	
Área Disponible	
Potencia conectada del inmueble	
Potencial Sistema FV para el autoconsumo	= Menor valor de los aspectos evaluados

Bibliografía

- [1] H. Solminihac Tampier, Procesos y Técnicas de Construcción, Quinta ed., Santiago: Universidad Católica de Chile, 2008.
- [2] Ministerio de Energía, «Programa Techos Solares Públicos,» [En línea]. Available: <http://www.minenergia.cl/techossolares/>. [Último acceso: 10.02.2016].
- [3] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «Normativa de Urbanismo y Construcciones,» [En línea]. Available: [http://www\[minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx](http://www[minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx). [Último acceso: 10.02.2016].
- [4] U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP), «Whole Building Design Guide. Photovoltaics,» 24 08 2012. [En línea]. Available: <https://www.wbdg.org/resources/photovoltaics.php>. [Último acceso: 27.11.2015].
- [5] Ministerio de Energía, «Explorador de Energía Solar para Autoconsumo,» [En línea]. Available: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>. [Último acceso: 12.02.2016].
- [6] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, «Norma 4/2003. Electricidad - Instalaciones de consumo en baja tensión,» [En línea]. Available: http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/electricidad_norma4/norma4_completa.pdf. [Último acceso: 08.02.2016].
- [7] Ministerio de Energía, «Inventario de Emisiones de GEI para PyMEs,» [En línea]. Available: <http://huelladecarbono.minenergia.cl>. [Último acceso: 10.02.2016].

