

Proyecto apoyado por

**CORFO**



# GÚIA DE DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID

**GD-ONG-V-2017-1.0**

**FUNDACIÓN ENERGÍA COMUNITARIA**



---

## Tabla de contenido

Diseño de sistema fotovoltaico on-grid .....	2
1. Diseño de sistema para para generar determinados kWp.....	2
I. Inspección del lugar de instalación .....	2
II. Selección de paneles fotovoltaicos.....	2
III. Selección del inversor y configuración del arreglo PV .....	3
IV. Especificación de conductores y protecciones .....	4
2. Diseño del sistema para suplir demanda promedio .....	5
I. Determinación de la demanda a suministrar.....	5
II. Determinación de la disponibilidad del recurso solar .....	6
III. Determinación de la potencia del arreglo .....	6
IV. Selección de módulos.....	7
V. Selección del inversor y configuración del arreglo PV .....	7
VI. Especificación de conductores y protecciones .....	8

## Diseño de sistema fotovoltaico on-grid

### 1. Diseño de sistema para para generar determinados kWp

Una de las posibles estrategias de diseño para sistemas fotovoltaicos on-grid se basa en la instalación de cierta cantidad e paneles fotovoltaicos que serán capaces de producir una potencia peak bajo condiciones de insolación nominales, es decir 1000 [W/m<sup>2</sup>]. Esta estrategia de diseño en particular es útil cuando se dispone de una superficie acotada para la instalación de paneles fotovoltaicos o bien se cuenta con un presupuesto reducido para ello. En este sentido el diseño del sistema tiene condiciones de borde establecidas y la energía a producir será un resultado de estas no cubriendo totalmente el requerimiento energético de las cargas y ayudando en parte a reducir la cantidad de energía que se debe comprar a la empresa distribuidora.

El procedimiento de diseño en este caso es el siguiente:

#### I. Inspección del lugar de instalación

En primer lugar, se debe realizar una inspección a l lugar donde se desea realizar la instalación y determinar la superficie con orientación norte que está disponible para los paneles fotovoltaicos. Adicionalmente se deberá determinar si esta se realizara sobe un tejado o bien a nivel de piso. En caso de que los paneles se instalen sobre un tejado se deberá determinar el estado de la estatura, superficie disponible, ángulo del tejado con respecto al suelo, y si esta está en condiciones estructurales como para soportar el peso adicional y los esfuerzos relacionados con la fuerza del viento sobre los colectores solares.

Por otro lado, si la instalación se realizara a nivel del suelo, se deberá determinar el tipo de superficie para establecer que fundaciones serán necesarias para la suportación de las estructuras necesarias para la instalación del arreglo de paneles fotovoltaicos.

En ambos casos se deberá establecer las distancias que existirán entre el punto de instalación de los paneles fotovoltaicos y donde se instalara el inversor para su conexión a la red. Así mismo se deberá determinar cuál es el recorrido de los conductores para poder estimar los largos y calibres requeridos.

#### II. Selección de paneles fotovoltaicos

En segundo lugar, y en función de la potencia peak que el cliente desee instalar y las dimensiones de la superficie disponible se deberá seleccionar los paneles fotovoltaicos. Para esto se considerará varias opciones de panel fotovoltaico obteniendo en primer lugar las dimensiones de cada uno desde sus correspondientes hojas de datos. La selección debe considerar módulos certificados por la SEC, cuyo listado puede encontrarse en el siguiente enlace;

[http://www.sec.cl/portal/page?\\_pageid=33,5847695,33\\_5905761&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5847695,33_5905761&_dad=portal&_schema=PORTAL)

Con esta información se podrá entonces calcular la cantidad de paneles que puede ser instalada en la superficie disponible, tal que;

$$n_{\text{paneles}} = \frac{S_{\text{disp}}}{S_{\text{panel}}}$$

donde,  $S_{\text{disp}}$  corresponde a los m<sup>2</sup> de superficie disponibles para la instalación y  $S_{\text{panel}}$  a la superficie cubierta por cada panel. El resultado obtenido se redondeará hacia el menor número entero.

Con el número de paneles así obtenido se comparará luego la potencia peak que se podría producir con cada uno de los arreglos de paneles considerados, tal que la potencia en cada caso corresponderá a:

$$P_{\text{arreglo}} = n_{\text{paneles}} * P_{\text{mp}_{\text{panel}}} [W]$$

donde,  $P_{\text{mp}_{\text{panel}}}$  corresponde a la potencia nominal del panel en cuestión.

El tipo y número de paneles a seleccionar resulta de la comparación de la potencia peak a producir por cada una de las opciones consideradas, de donde se elegirá aquella que alcance mayor valor.

### III. Selección del inversor y configuración del arreglo PV

El siguiente aspecto dentro del procedimiento de diseño consiste en configurar el arreglo de paneles fotovoltaicos. A partir de esto se determinará el número de paneles que se conectarán en serie y cuantas ramas de paneles se dispondrán en paralelo. Para esto es necesario seleccionar el inversor a utilizar puesto que a partir de ello se determinará la tensión del arreglo y se podrá hacer un adecuado pareo entre arreglo de paneles e inversor.

En este sentido se deberá entonces comenzar con la selección del inversor a utilizar. Para ello se deberá escoger alguno de los inversores certificados por la SEC, los que cuentan con la autorización correspondiente como para ser conectados a la red de distribución. Un listado de los inversores que cumplen con la reglamentación nacional puede encontrarse en el siguiente enlace;

[http://www.sec.cl/portal/page?\\_pageid=33.5847695.33\\_5905757&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33.5847695.33_5905757&_dad=portal&_schema=PORTAL)

El inversor seleccionado debe ser de potencia en corriente continua levemente superior a la que producirá el arreglo de paneles fotovoltaicos.

Una vez escogido el inversor se deberá registrar los valores de tensión máxima, rango de tensiones donde el inversor es capaz de seguir el punto de máxima potencia, y la corriente máxima de entrada del inversor. Con estos valores puede entonces determinarse la cantidad de paneles que se requiere en serie para formar una cadena y cuantas de estas cadenas son necesarias de conectar en paralelo; tal que:

$$N_{\text{modulos\_serie}} = \frac{V_{\text{in\_max\_inversor}}}{1.25 * V_{OC}}$$

$$N_{\text{string\_paralelo}} = \frac{I_{\text{in\_max\_inversor}}}{1.25 * I_{SC}}$$

donde,  $V_{\text{in\_max\_inversor}}$  e  $I_{\text{in\_max\_inversor}}$  corresponden a los valores máximo de tensión y voltaje que son admisibles en la entrada del inversor.  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$  corresponden a los valores de tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito del módulo seleccionado. En estos cálculos el factor 1.25 se incluye para contemplar los efectos de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos. Los valores obtenidos a partir de los cálculos anteriores se deben redondear de forma de obtener números enteros. Asimismo, la suma de la cantidad de paneles conectados en serie y paralelo debe ser igual al número de paneles calculados en el punto anterior. Este es un proceso iterativo que puede llevar a reevaluar la selección de módulos realizada en el punto anterior hasta que se encuentre la mejor configuración.

Una vez configurado el arreglo se debe verificar que la tensión de máxima potencia obtenida se encuentre dentro del rango admisible de seguimiento del punto de máxima potencia del inversor. Como regla general el valor de tensión de máxima potencia para irradiación nominal del arreglo debiera estar sobre el valor medio del rango correspondiente de forma de que el inversor pueda seguir sin problemas el punto de máxima potencia para un amplio rango de condiciones de radiación solar.

En este punto vale la pena mencionar que en la configuración del arreglo se debe siempre considerar el uso de paneles del mismo modelo y tipo y nunca se debe configurar arreglos utilizando diferentes tipos de paneles.

#### IV. Especificación de conductores y protecciones

El siguiente punto en el proceso de diseño corresponde a la especificación de los conductores tanto en el lado de corriente continua como en el de alterna. Adicionalmente se debe determinar las protecciones que sean necesarias. Para esto se debe seguir el procedimiento publicado por la SEC en su instrucción técnica RGR N°2/2014 y que se encuentra disponible en;

[http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD\\_NET\\_METERING/RGR\\_02.PDF](http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD_NET_METERING/RGR_02.PDF)

## 2. Diseño del sistema para suplir demanda promedio

Un segundo criterio de diseño para un sistema on-grid consiste en la concepción de un sistema que permita cubrir la demanda de una instalación ya sea en forma parcial o total. Esto en general resulta en sistemas de mayor tamaño que los determinados en el criterio anterior por lo que en general requieren de una superficie disponible para la instalación del arreglo sea también mayor.

### I. Determinación de la demanda a suministrar

El primer paso a seguir bajo este esquema de diseño es determinar la cantidad de energía que se requiere generar. Para esto lo habitual es tomar como referencia un periodo de tiempo de un año y analizar el historial de consumo del cliente. El periodo de un año se toma considerando que como el sistema estará conectado a la red se aprovechará de generar la mayor cantidad de energía posible durante los meses de mayor insolación de forma de inyectarla a la red a manera de sistema de almacenamiento de energía para ser luego recuperada durante los meses de invierno. Esto tiene una penalización económica, eso sí, puesto que la normativa de tarifado valoriza de forma diferente la energía inyectada y la energía consumida.

Los insumos necesarios para determinar la energía a producir se obtienen desde las boletas de la compañía de distribución considerando el periodo comprendido por el último año o últimos dos años. A partir de las cuales se puede determinar el requerimiento energético promedio del cliente. En este punto es siempre conveniente determinar a partir de una auditoria energética a las cargas que tenga conectado el sistema de forma de determinar si es que existen posibilidades de aplicar medidas de eficiencia energética. Por ejemplo, el reemplazo de ampolletas incandescentes por LED o CCFL, o bien el uso de artefactos eléctricos más eficientes tales como refrigeradores o lavadoras. Esto debido a que la experiencia muestra que medidas de este tipo pueden lograr reducir la demanda energética hasta en un 50% reduciendo entonces el tamaño del sistema fotovoltaico requerido.

Una vez realizado esto se calcula el valor promedio mensual de demanda, a partir del cual se realizará el diseño.

Así, la energía promedio mensual y diaria necesaria para cubrir la demanda promedio es calculada a partir de;

$$w_{demanda\_año} = \sum_{i=1}^{12} w_{mes_i} [kWh]$$
$$w_{promedio\_mes} = \frac{w_{demanda\_año}}{12} [kWh]$$
$$w_{promedio\_dia} = \frac{w_{promedio\_mes}}{30} [kWh]$$

donde;  $w_{mes_i}$  corresponde a la demanda de energía de cada mes.

## II. Determinación de la disponibilidad del recurso solar

A partir de las coordenadas geográficas del lugar donde se realizará la instalación determinar la disponibilidad del recurso solar. Para esto se pueden utilizar cartas meteorológicas, mediciones a partir de piranómetros (a lo menos un año) o bien herramientas computacionales tales como el explorador solar del ministerio de energía. Registrando el valor de irradiación total promedio en el periodo.

El resultado obtenido generalmente se encuentra expresado en unidades de irradiación, es decir en W-hora/m<sup>2</sup>, la cual deberá transformarse en horas equivalentes a sol nominal. Lo cual se obtiene a partir de:

$$h_{@sol-1} = \frac{\text{insolación}}{1000}$$

Adicionalmente, obtener el diagrama de trayectoria solar para el punto de instalación de forma de conocer que tipos de obstáculos existirán y poder estimar el sombreado que podrá presentarse sobre el arreglo de paneles fotovoltaicos. Para esto pueden utilizarse herramientas tales como:

<http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath3d.html>

[https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php)

<http://suncalc.net/#/-36.8307,-73.0375,15/2017.09.12/14:43>

<https://www.suncalc.org/#/-36.8301,-73.0375,15/2017.09.12/14:43/1/0>

## III. Determinación de la potencia del arreglo

A partir de la energía requerida para suplir la demanda promedio y la cantidad de horas equivalentes a sol nominal es posible calcular la potencia que debe ser capaz de producir el arreglo fotovoltaico. Para esto además se hace necesario tener a disposición la eficiencia del inversor, cableado y conexión. Sin embargo, dado que dichos componentes no son seleccionados aún se debe tomar en este punto valores referenciales de forma de tener una primera aproximación. Una vez que se determine el arreglo y se seleccione el inversor y demás componentes se deberá revisar este cálculo para ver si el arreglo diseñado cumple con lo especificado.

Es así que la potencia del arreglo deberá ser:

$$P_{\text{arreglo}} = \frac{W_{\text{promedio\_dia}}}{h_{@sol-1} * \eta_{\text{inv}} * \eta_{\text{cab}}} [W]$$

Donde,  $\eta_{\text{inv}}$  y  $\eta_{\text{cab}}$  corresponden a la eficiencia del inversor y cableado respectivamente. Valores típicos para estos son 93% y 97% respectivamente.

#### IV. Selección de módulos

El siguiente paso en el proceso de diseño consiste en la selección de los módulos fotovoltaicos a utilizar. Para esto se debe considerar varias opciones de forma de comparar los resultados obtenidos en cada caso. La selección debe considerar módulos certificados por la SEC, cuyo listado puede encontrarse en el siguiente enlace;

[http://www.sec.cl/portal/page?\\_pageid=33,5847695,33\\_5905761&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5847695,33_5905761&_dad=portal&_schema=PORTAL)

El número de paneles necesarios para generar la potencia calculada en el punto anterior se determina a partir de,

$$n_{\text{módulos}} = \frac{P_{\text{arreglo}}}{P_{\text{mp\_módulo}}}$$

En tanto la superficie requerida por los módulos calculados estará dada por

$$Sup_{\text{arreglo}} = n_{\text{módulos}} * Sup_{\text{modulo}} [m^2]$$

Dado que diferentes módulos resultaran en diferentes configuraciones para el arreglo se Debra comparar en este punto aquella que resulte en un arreglo de menor tamaño y que cumpla con las restricciones de espacio establecidas por la superficie que este disponible para la instalación de los paneles.

#### V. Selección del inversor y configuración del arreglo PV

El siguiente aspecto dentro del procedimiento de diseño consiste en configurar el arreglo de paneles fotovoltaicos. A partir de esto se determinará el número de paneles que se conectarán en serie y cuantas ramas de paneles se dispondrán en paralelo. Para esto es necesario seleccionar el inversor a utilizar puesto que a partir de ello se determinará la tensión del arreglo y se podrá hacer un adecuado pareo entre arreglo de paneles e inversor.

En este sentido se deberá entonces comenzar con la selección del inversor a utilizar. Para ello se deberá escoger alguno de los inversores certificados por la SEC, los que cuentan con la autorización correspondiente como para ser conectados a la red de distribución. Un listado de los inversores que cumplen con la reglamentación nacional puede encontrarse en el siguiente enlace;

[http://www.sec.cl/portal/page?\\_pageid=33,5847695,33\\_5905757&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5847695,33_5905757&_dad=portal&_schema=PORTAL)

El inversor seleccionado debe ser de potencia en corriente continua levemente superior a la que producirá el arreglo de paneles fotovoltaicos.

Una vez escogido el inversor se deberá registrar los valores de tensión máxima, rango de tensiones donde el inversor es capaz de seguir el punto de máxima potencia, y la corriente máxima de entrada del inversor. Con estos valores puede entonces determinarse la cantidad de paneles que se requiere en serie para formar una cadena y cuantas de estas cadenas son necesarias de conectar en paralelo; tal que:

$$N_{\text{modulos\_serie}} = \frac{V_{\text{in\_max\_inversor}}}{1.25 * V_{OC}}$$

$$N_{\text{string\_paralelo}} = \frac{I_{\text{in\_max\_inversor}}}{1.25 * I_{SC}}$$

donde,  $V_{\text{in\_max\_inversor}}$  e  $I_{\text{in\_max\_inversor}}$  corresponden a los valores máximo de tensión y voltaje que son admisibles en la entrada del inversor.  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$  corresponden a los valores de tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito del módulo seleccionado. En estos cálculos el factor 1.25 se incluye para contemplar los efectos de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos. Los valores obtenidos a partir de los cálculos anteriores se deben redondear de forma de obtener números enteros. Asimismo, la suma de la cantidad de paneles conectados en serie y paralelo debe ser igual al número de paneles calculados en el punto anterior. Este es un proceso iterativo que puede llevar a reevaluar la selección de módulos realizada en el punto anterior hasta que se encuentre la mejor configuración.

Una vez configurado el arreglo se debe verificar que la tensión de máxima potencia obtenida se encuentre dentro del rango admisible de seguimiento del punto de máxima potencia del inversor. Como regla general el valor de tensión de máxima potencia para irradiación nominal del arreglo debiera estar sobre el valor medio del rango correspondiente de forma de que el inversor pueda seguir sin problemas el punto de máxima potencia para un amplio rango de condiciones de radiación solar.

En este punto vale la pena mencionar que en la configuración del arreglo se debe siempre considerar el uso de paneles del mismo modelo y tipo y nunca se debe configurar arreglos utilizando diferentes tipos de paneles.

## VI. Especificación de conductores y protecciones

El siguiente punto en el proceso de diseño corresponde a la especificación de los conductores tanto en el lado de corriente continua como en el de alterna. Adicionalmente se debe determinar las protecciones que sean necesarias. Para esto se debe seguir el procedimiento publicado por la SEC en su instrucción técnica RGR N°2/2014 y que se encuentra disponible en;

[http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD\\_NET\\_METERING/RGR\\_02.PDF](http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD_NET_METERING/RGR_02.PDF)



**Bienes Públicos Estratégicos para la Competitividad**