

# Energía Renovable Fotovoltaica

## Dimensionamiento de un sistema solar para una vivienda a construir



 Ing. Luis Gastón Clement

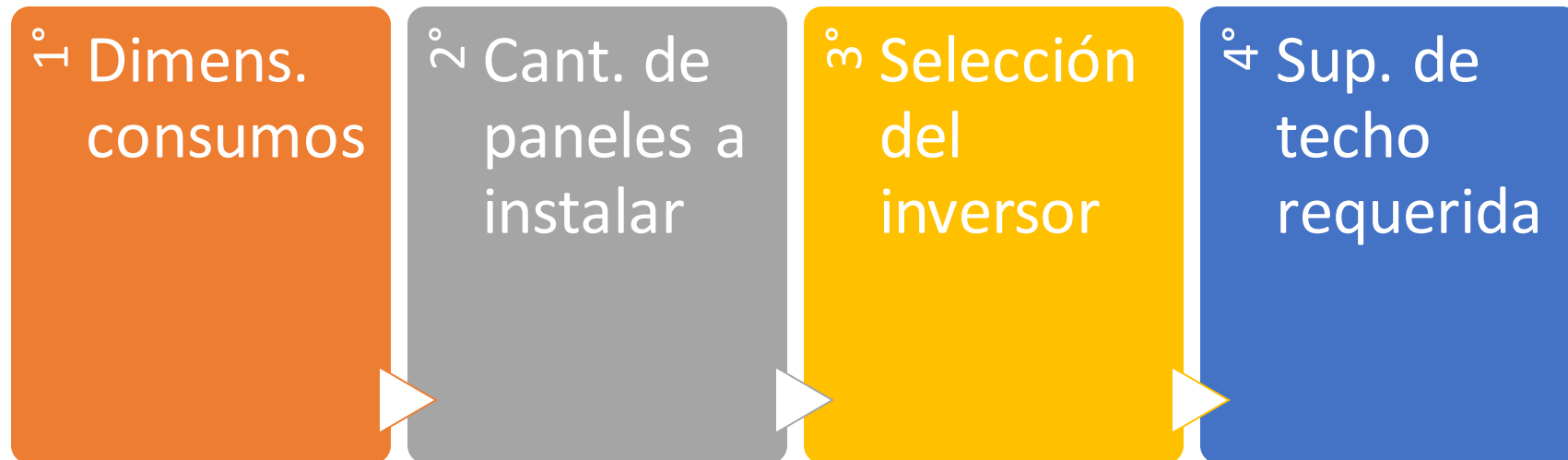
 2615995371

 <https://solterra.com.ar/>

# Proceso de cálculo

---

El proceso de cálculo consta de las siguientes partes que veremos en esta presentación:



# Dimensionamiento de consumos

---

Se requiere conocer o definir los siguientes parámetros:

Equipamiento eléctrico a instalar

Cantidad de cada equipo

Potencia de cada equipo

Tiempo promedio de uso al día

Se debe establecer el período en que se calcularán los consumos.  
Para una instalación conectada a la red el cálculo se hace en base anual.



# Dimensionamiento de consumos - Ejemplo

---

Para un complejo de 8 departamentos se estiman los siguientes consumos:

- Bombas de agua fría: 2 bombas de 3/4Hp (una funcionando, la otra de respaldo por mantenimiento) para un edificio de 8dptos. Se considera una bomba de 1hp = 0,746kW. Se supone un funcionamiento de 5hs al día.

Cálculo:  $0,746\text{kW} \times 5\text{h} = 3,73\text{kWh/día} \times 365 \text{ días} = 1361,45 \text{ kWh/año}$

- Resistencias eléctricas termotanques solares: 6039kWh/año
- Ascensor: 6 pasajeros 15HP = 2156kWh/año
- Luz de ascensor: 210,2kWh/año
- Motores portón corredizo: 29,93kWh/año
- Luces: 673,42 kWh/anual

TOTAL CONSUMO DEL COMPLEJO:  $E_{\text{req.año}} = 10.470\text{kWh/año}$

# Cantidad de paneles a instalar

---

Para el cálculo de la cantidad de paneles, aplicaremos la siguiente ecuación:

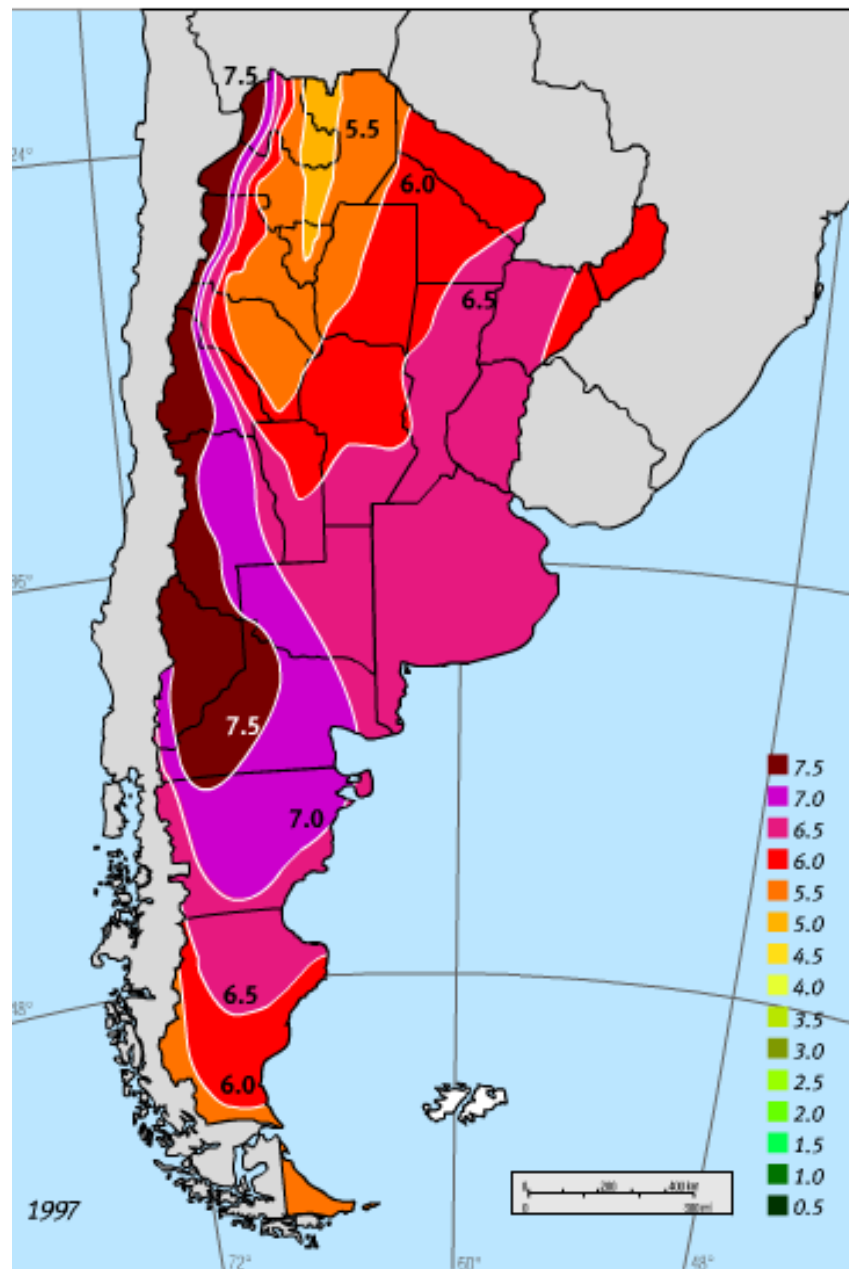
$$E_{\text{año.panel}} = I_{\text{prom.día}} \cdot S_{\text{panel}} \cdot \text{días}_{\text{año}} \cdot \eta$$

Donde:

- $E_{\text{año.panel}}$  : Energía generada por el panel al año
- $I_{\text{prom.día}}$  : Irradiación promedio diaria al año
- $S_{\text{panel}}$  : Superficie del panel
- $\text{días}_{\text{año}}$  : días del año = 365
- $\eta$  : rendimiento del panel

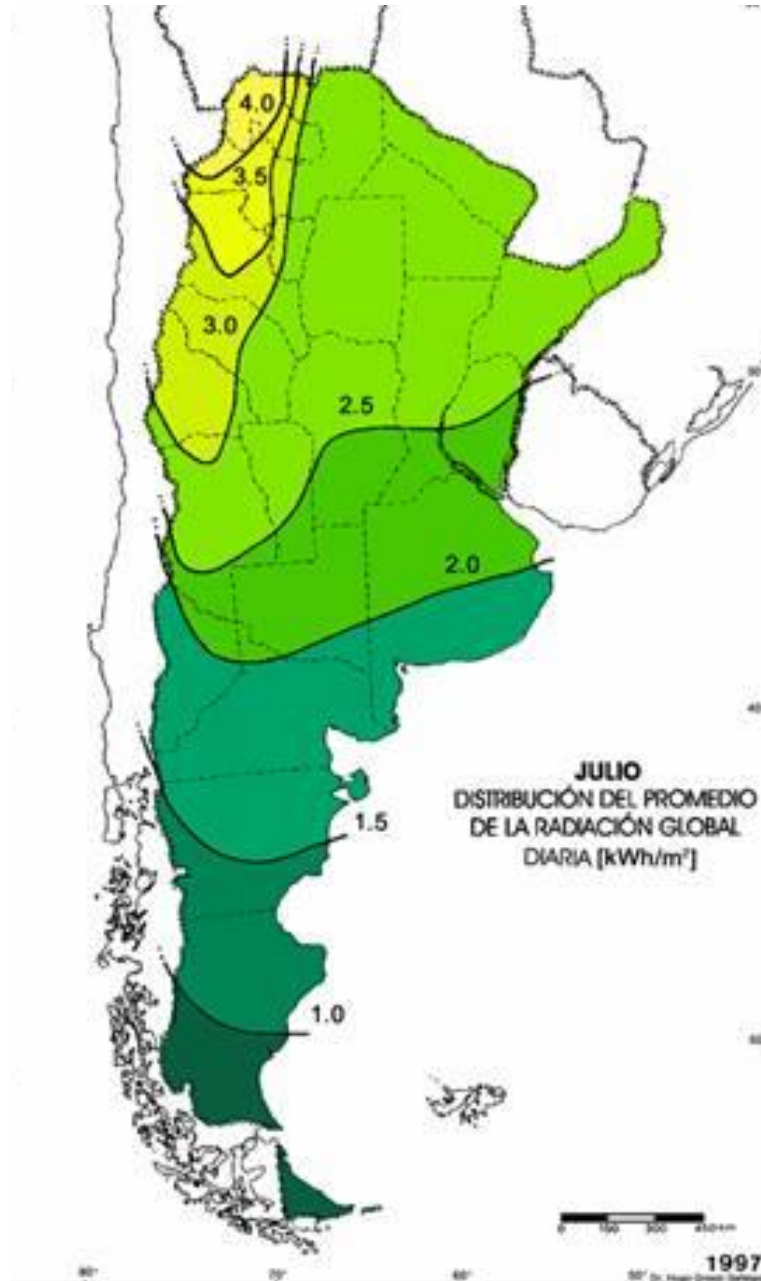
## Cantidad de paneles a instalar - Recurso solar

Distribución  
espacial  
promedio de la  
irradiación solar  
global diaria en  
Enero  
(kWh/m<sup>2</sup>/día)



# Cantidad de paneles a instalar - Recurso solar

Distribución  
espacial  
promedio de la  
irradiación solar  
global diaria en  
Julio  
(kWh/m<sup>2</sup>/día)



# Geometría Solar - Ángulo de inclinación del panel

## Irradiación promedio mensual incidente en un panel inclinado orientado hacia el Ecuador (kWh/m<sup>2</sup>/day)

Lat -32.891 Lon -68.827	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Difusa	2.20	1.97	1.55	1.19	0.97	0.87	0.92	1.15	1.53	1.82	2.12	2.28	1.55
Directa	7.69	7.03	6.64	5.80	4.68	3.86	4.14	4.80	5.28	6.67	7.44	7.71	5.97
Tilt 0	7.36	6.56	5.52	4.23	2.99	2.41	2.64	3.41	4.55	5.98	7.09	7.48	5.01
Tilt 17	7.18	6.66	5.99	4.99	3.77	3.13	3.37	4.08	5.04	6.23	6.98	7.21	5.38
Tilt 32	6.63	6.39	6.07	5.37	4.24	3.59	3.82	4.45	5.20	6.10	6.51	6.60	5.41
Tilt 47	5.75	5.80	5.83	5.46	4.47	3.85	4.07	4.57	5.09	5.66	5.71	5.66	5.15
Tilt 90	2.48	2.92	3.58	4.10	3.76	3.39	3.51	3.57	3.40	3.00	2.55	2.37	3.22
OPT	7.37	6.68	6.08	5.47	4.50	3.90	4.10	4.57	5.20	6.23	7.10	7.48	5.72
OPT ANG	2.00	13.0	28.0	44.0	53.0	57.0	56.0	47.0	33.0	19.0	5.00	0.00	29.8

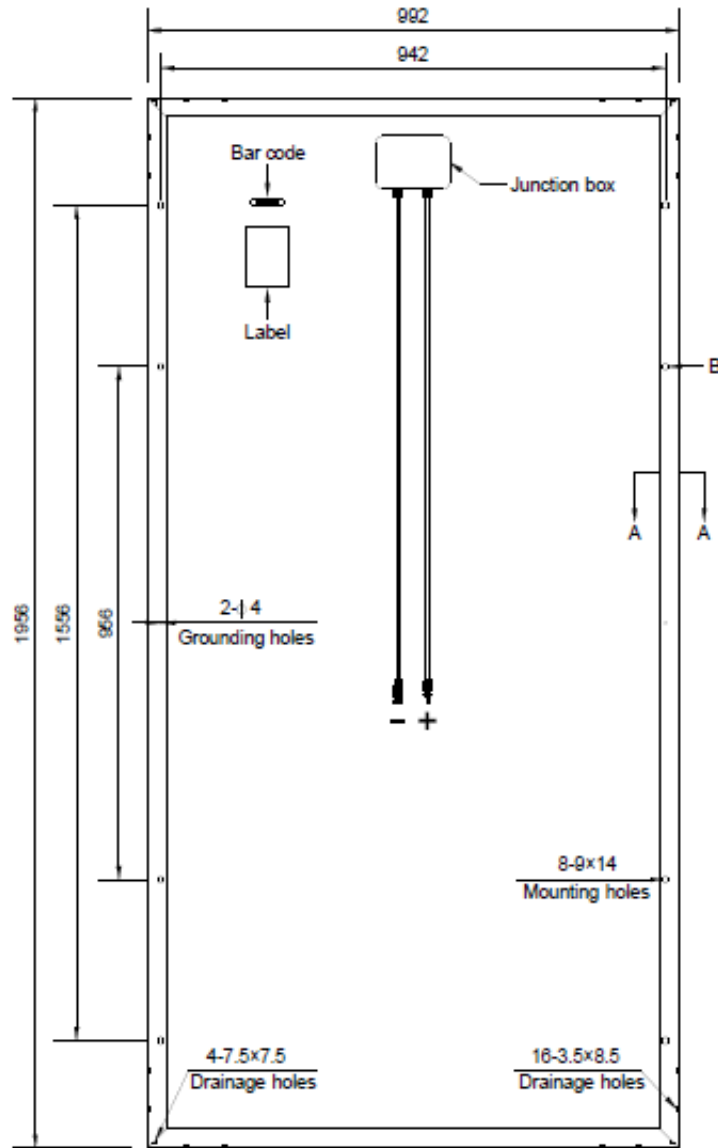
Para el cálculo utilizaremos la irradiación promedio anual para un ángulo de 32° = 5,41kWh/m<sup>2</sup>/día

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=carol@solarenergy.org>



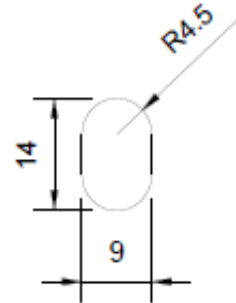


## Cantidad de paneles a instalar

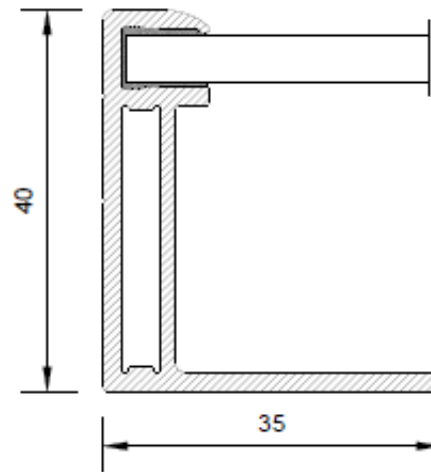


Rear View

Unit: mm



B



Section A-A

La superficie del panel de la obtiene del catálogo del mismo:

## MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline 6inch
Number of cells	72 (6x12)
Module dimensions	1956x992x40mm (77.01x39.06x1.57inches)
Weight	21kg (46.3lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 3 diodes
Cable	4mm <sup>2</sup> (0.006inches <sup>2</sup> ), 1000mm (39.37inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

# Cantidad de paneles a instalar

Se observa que los paneles se ensayan bajos 2 metodologias distintas:

## STANDAR TEST CONDITIONS



## NOCT



# Cantidad de paneles a instalar

Según la condición considerada tendremos, tendremos un rendimiento distinto del panel como se puede observar en el siguiente catálogo de producto de paneles de 380Wp:

Condición de prueba	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	380W	283W
Open Circuit Voltage (VOC)	48.4V	44.9V
Short Circuit Current (ISC)	9.99A	8.09A
Voltage at Maximum Power (Vmp)	39.8V	36.7V
Current at Maximum Power (Imp)	9.55A	7.72A
Module Efficiency ( $\eta$ )	19.58%	18.23%
Operating Temperature	-40°C to +85°C	
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC	
Fire Resistance Rating	Type 1(in accordance with UL 1703)/Class C(IEC 61730)	
Maximum Series Fuse Rating	15A	

$$P = V \cdot I$$

Para el cálculo de la energía producida por el panel utilizaremos el rendimiento en condición NOCT = 18,23%

# Cantidad de paneles a instalar - Ejemplo

Aplicamos los valores obtenidos a la siguiente ecuación y obtenemos:

$$E_{\text{año.panel}} = I_{\text{prom.día}} \cdot S_{\text{panel}} \cdot \text{días}_{\text{año}} \cdot \eta$$

$$E_{\text{año.panel}} = 5,41\text{kWh}/(\text{día.m}^2) \cdot 1,956\text{m} \cdot 0,992\text{m} \cdot 365\text{días} \cdot 18,23\% = 698,49\text{kWh}$$

Se considerarán de forma aproximada las siguientes pérdidas en la instalación:

- $\eta_{\text{sombreado}}$  : pérdidas por sombreado parcial de paneles (mismatch) del 2% =  $1 - 0,02 = 0,98 = 98\%$
- $\eta_{\text{CC}}$  : pérdidas de cableado en corriente continua del 2% =  $1 - 0,02 = 0,98 = 98\%$
- $\eta_{\text{inv}}$  : pérdidas en el inversor de alrededor del 3,5% =  $1 - 0,035 = 0,965 = 96,5\%$
- $\eta_{\text{CA}}$  : pérdidas en corriente alterna del 2% =  $1 - 0,02 = 0,98 = 98\%$

El rendimiento de la instalación porcentual final es igual a:

$$0,98 \times 0,98 \times 0,965 \times 0,98 = 0,908 = 90,8\%$$

La generación anual por panel será:

$$E_{\text{año.panel}} = 698,49\text{kWh} \times 0,908 = 634,23\text{kWh}$$



# Cantidad de paneles a instalar - Ejemplo

---

Por lo tanto para cubrir la demanda anual de energía del complejo aplicamos la siguiente ecuación:

$$N_{\text{paneles}} = E_{\text{req.año}} / E_{\text{año.panel}} = 10.470(\text{kWh/año}) / 634,40 (\text{kWh/año}) = 16,50 \text{ paneles} = 16 \text{ paneles}$$

Esto significa una generación de energía eléctrica anual igual a:

$$E_{\text{año.instalación}} = 16 \text{ paneles} \times 634,40 (\text{kWh/año}) = 10150 \text{ kWh/año}$$

El porcentaje de cubrimiento de la demanda anual es del:

$$\text{Cubrim}_{\text{demanda}} = 10150/10470 = 97\%$$

# Selección del inversor - Ejemplo

---

Vamos a seleccionar el inversor en función de la potencia de los paneles:

16 paneles de 380W

$$16 \times 380W = 6080W_p$$

Se busca que el inversor sea de una potencia entre un 10 y un 20% inferior a la potencia de los paneles.

$$6080W_p / 1.1 = 5527$$

$$6080W_p / 1.2 = 5066$$

$$5066W \leq P_{inv} \leq 5527W$$

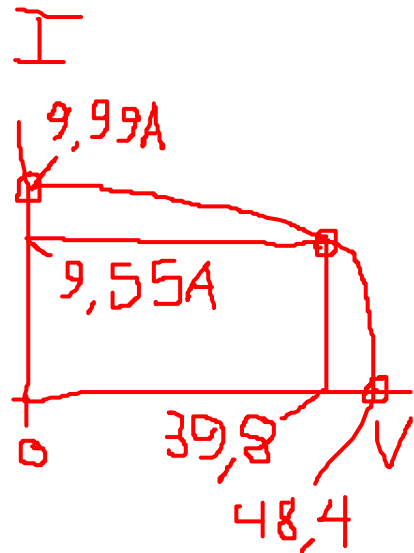
Se observa que no hay inversor entre 5000 y 6000W, por lo que saltaremos al inversor de 6000W.

$$P_{inv} = 6000W$$



# Selección del inversor - Ejemplo

Vemos la posibilidad de incorporar un inversor SMA Sunny Tripower 6.0.



$$P_{cc} = V \cdot I = 0W$$

$$P_{cc} = V \cdot I = 0W$$

$$P_{MPP} = 380W$$

Technical data	Sunny Tripower 3.0	Sunny Tripower 4.0	Sunny Tripower 5.0	Sunny Tripower 6.0
Input (DC)				
Max. PV array power	6000 Wp	8000 Wp	9000 Wp	9000 Wp
Max. input voltage	850 V	850 V	850 V	850 V
MPP voltage range	140 V to 800 V	175 V to 800 V	215 V to 800 V	<u>260 V to 800 V</u>
Rated input voltage	580 V			
Min. input voltage / initial input voltage	125 V / 150 V			
Max. input current input A / input B	12 A / 12 A			
Max. DC short-circuit current input A/input B	18 A / 18 A			
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2/A: 1; B: 1			
Output (AC)				
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	3000 W	4000 W	5000 W	6000 W
Max. apparent power AC	3000 VA	4000 VA	5000 VA	6000 VA
Nominal AC voltage / range	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V, 240 V / 415 V			
AC grid frequency / range	180 V to 280 V 50 Hz, 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz			
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V			
Max. output current	3 x 4.5 A	3 x 5.8 A	3 x 7.6 A	3 x 9.1 A
Power factor at rated power	1			
Displacement power factor, adjustable	0.8 overexcited to 0.8 underexcited			
Feed-in phases / connection phases	3 / 3			
Efficiency				
Max. efficiency / European efficiency	98.1% / 96.5%	98.0% / 97.1%	98.0% / 97.4%	98.0% / 97.5%
Protective devices				
Input-side disconnection point	●			
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●			
DC reverse polarity protection / AC short circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -			
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●			
Protection class (according to IEC 62103) / surge category (according to IEC 60664-1)	I / III			



# Selección del inversor - Ejemplo

---

Primero probaremos poniendo los 16 paneles en una sola cadena para verificar si estamos dentro del intervalo MPPT:

$$V_{stc.cadena} = N^{\circ} \text{paneles} \times V_{mp.stc} = 16 \times 39,8V = 636,8V$$

El rango del MPPT es de 260 a 800V, por lo tanto, en condición STC y NOCT el sistema estará andando correctamente.

Ahora se verifica que la cadena de paneles no supere el límite de tensión admisible en el lado de continua del inversor:

$$V_{oc.sts.cadena} = N^{\circ} \text{paneles} \times V_{oc.stc} = 16 \times 48,4V = 774,4V$$

$$V_{m\acute{a}x.cc}: \text{Tensión máxima de entrada} = 850V$$

$$V_{oc.sts.cadena} < V_{m\acute{a}x.cc} \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

Se verifica que la corriente nominal del inversor en CC sea mayor a la que puede generar el panel:

$$I_{mp.inv} : \text{Corriente máx. de entrada A del inversor} = 12A$$

$$I_{mpp.panel} = 9,55A$$

$$I_{mpp.panel} < I_{mpp.inv} \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

$$I_{cc.inv} : \text{Corriente de cortocircuito máx. A del inversor} = 17A$$

$$I_{cc.panel} = 9,99A$$

$$I_{cc.panel} < I_{cc.inv} \rightarrow \text{Cumple la condición.}$$

Por lo tanto, el inversor seleccionado verifica para la instalación que deseamos realizar. Se utilizará solo un MPPT del inversor ya que tenemos una sola cadena

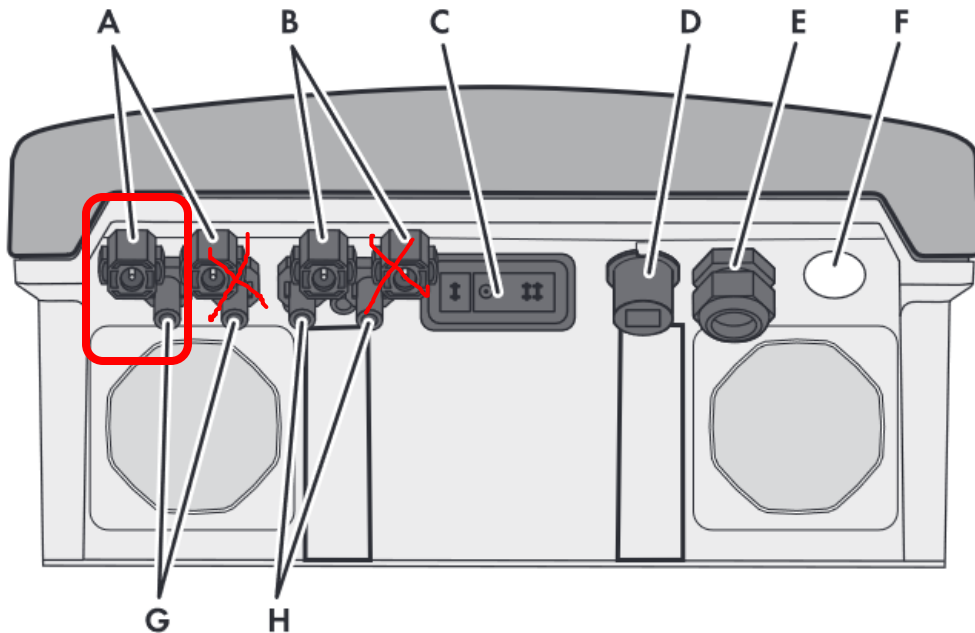




## Selección del inversor - Ejemplo

Se utilizará solo un MPPT del inversor ya que tenemos una sola cadena. Se conectará la cadena a un conector MC4 positivo y a un MC4 negativo como se observa a continuación:

### Vista inferior



Posición	Denominación
A	Conectores de enchufe de CC positivos, entrada A
B	Conectores de enchufe de CC positivos, entrada B
C	Hembrilla para el ESS
D	Hembrilla con tapón obturador para la conexión de red
E	Racor atornillado para cables M25 con tapón obturador para los cables de datos
F	Abertura en la carcasa para el cable de CA
G	Conectores de enchufe de CC negativos, entrada A
H	Conectores de enchufe de CC negativos, entrada B

Áreas de conexión y aberturas en la carcasa en la parte inferior del inversor

# Superficie de techo requerida - Ejemplo

Primero vemos los ángulos que relación al panel solar con su orientación geográfica.

**$\alpha_s$  = Altura solar**

Complementario del ángulo cenital.

$$\alpha_s + \theta_z = \frac{\pi}{2}$$

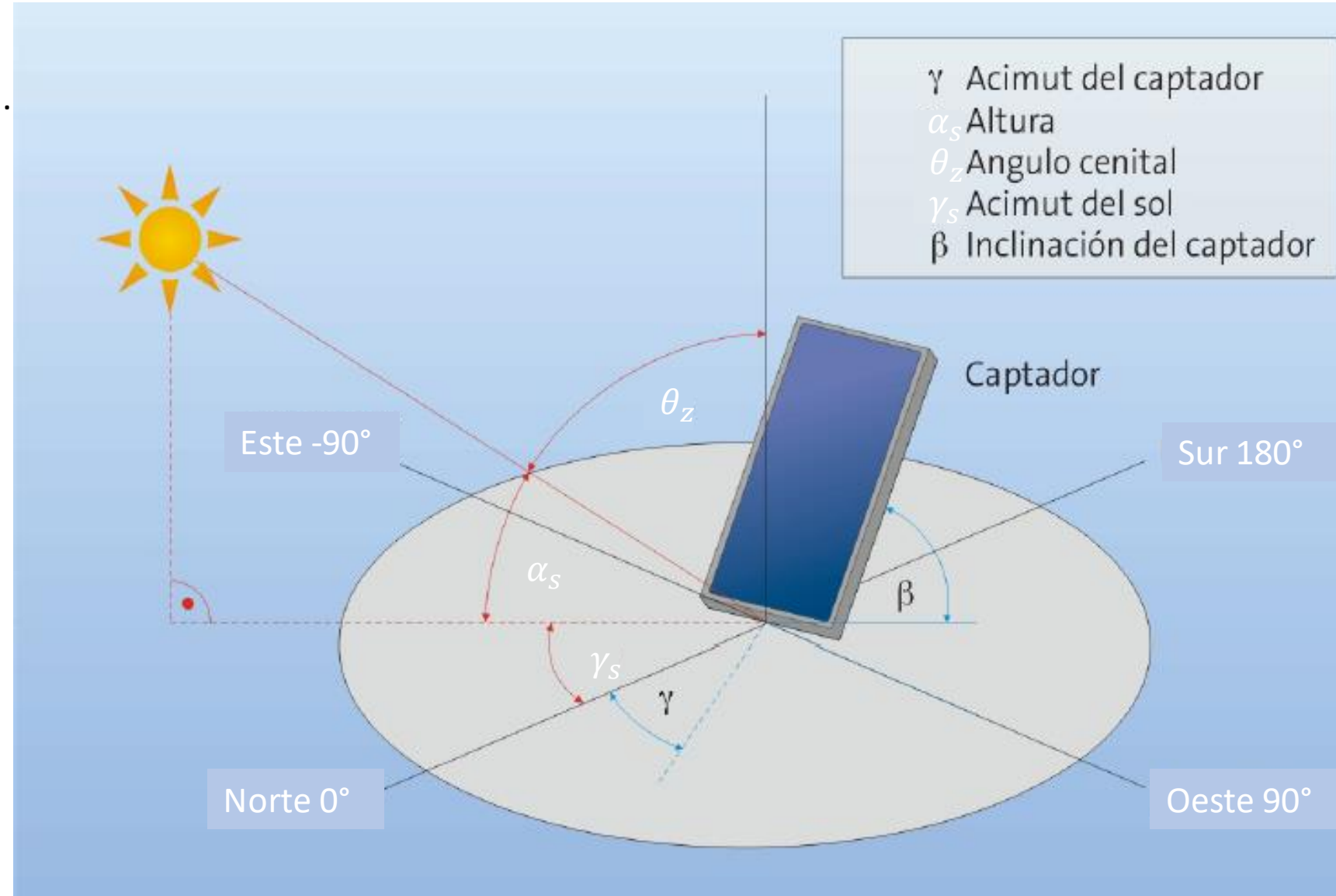
$$\text{sen}(\alpha_s) = \cos(\theta_z)$$

**$\beta$  = Inclinação del captador**

$$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

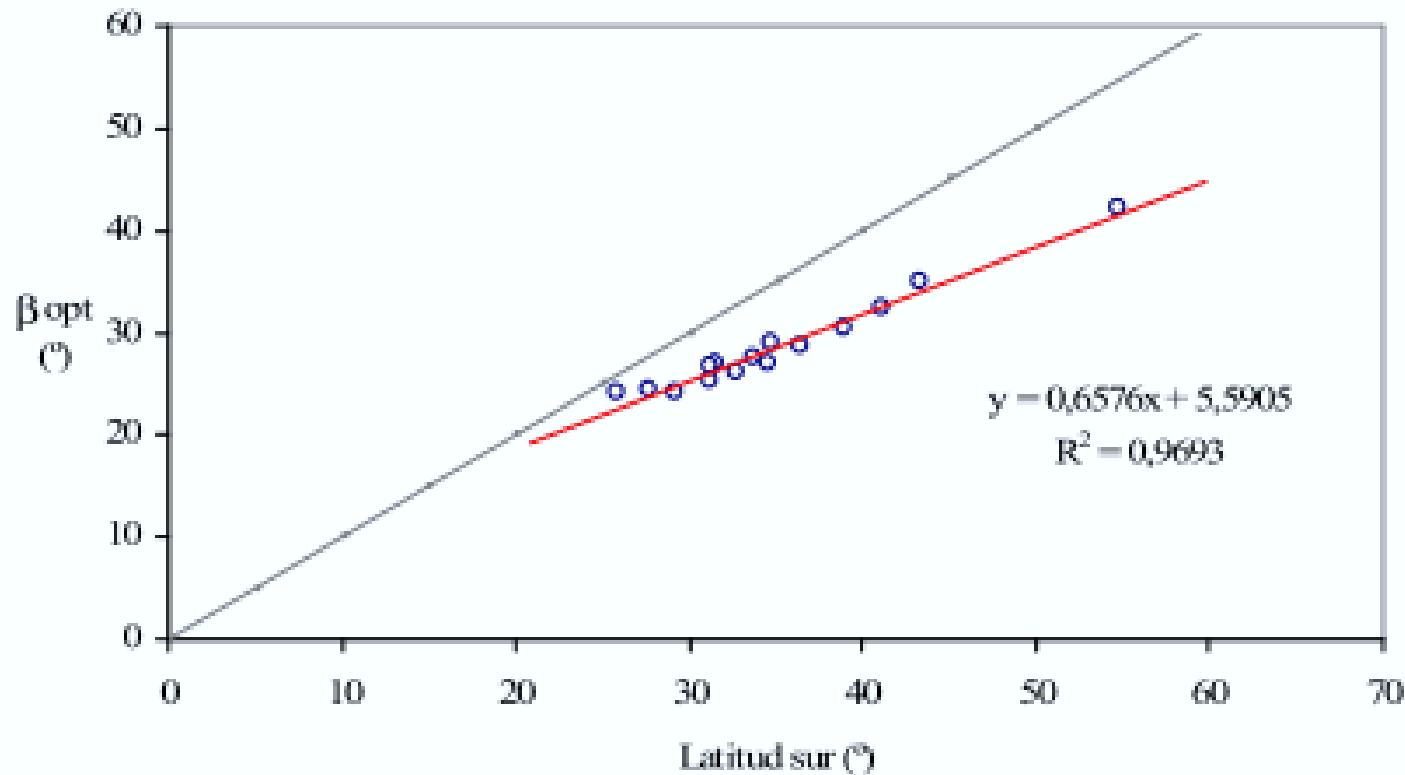
**$\gamma$  = azimut del captador**

$$-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$$



# Superficie de techo requerida - Ejemplo

El ángulo de inclinación de los paneles óptimo para Mendoza se calcula con la siguiente ecuación:



$$\beta = 0,6576.\Phi + 5,5905$$

Donde:

- $\beta$  = Inclinación del captador
- $\Phi$  = Latitud

Reemplazando por nuestra latitud sur (32,88°)

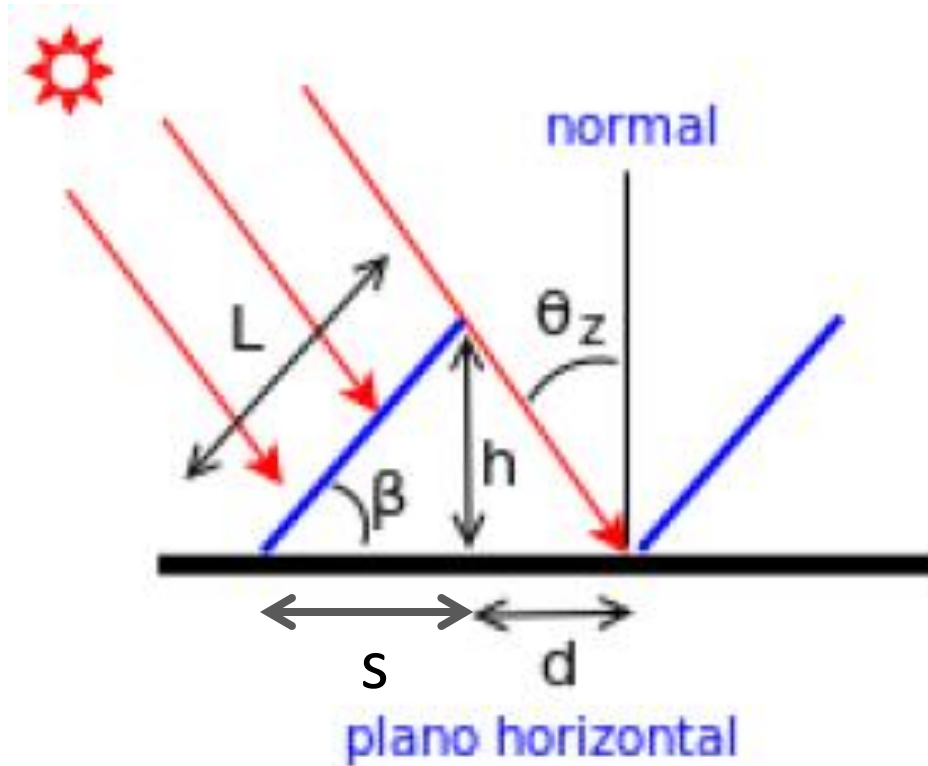
Obtenemos un ángulo óptimo de  **$\beta = 27^\circ$**

Ventajas:

- Mayor energía extraída anual
- Mayor energía en verano
- Menor sombra, menor distancia entre paneles, optima utilización de superficie

# Superficie de techo requerida - Ejemplo

Se establece un criterio para evitar el sombreado de los paneles en las horas centrales del día.  
Se define como criterio general que los paneles estén sin sombreado 2 horas solares antes y después del mediodía solar, durante el solsticio de invierno. Esto nos da un valor de  $\theta_z = 63^\circ$ .



**$k_s$  = Factor de sombreado, es función del ángulo cenital.**

$$k_s = \frac{d}{h} = \tan(\theta_z)$$

Si el módulo se lo instala vertical:

$$\text{sen } \beta = h / L$$

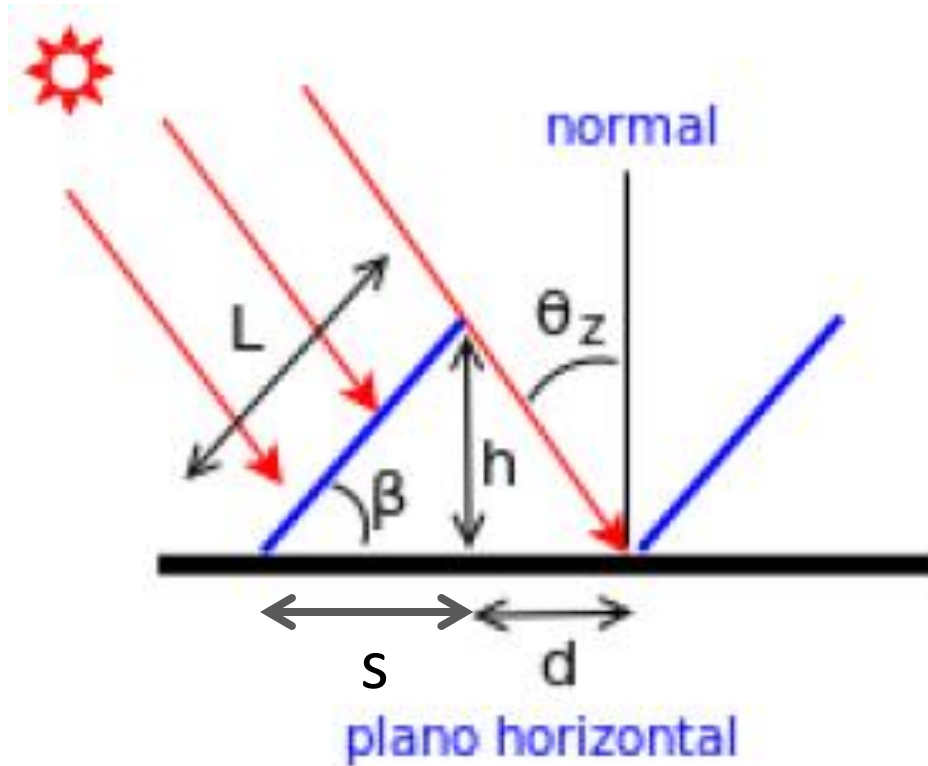
$$h = \text{sen } \beta \cdot L = \text{sen } 63^\circ \cdot 1,956\text{m} = 0,888\text{m}$$

$$\text{tg } \theta_z = d / h$$

$$d = \text{tg } \theta_z \cdot h = \text{tg } 63^\circ \cdot 0,888\text{m} = 1,743$$

# Superficie de techo requerida - Ejemplo

Finalmente se calcula la superficie de techo que se requiere aproximadamente:



Se calcula “s” para el módulo instalado vertical:

$$\cos \beta = s / L$$

$$s = \cos \beta \cdot L = \cos 27^\circ \cdot 1,956\text{m} = 1,743\text{m}$$

El ancho entre filas de paneles es:

$$s + d = 1,743 + 1,743 = 3,486$$

Tenemos 16 paneles con un ancho de  $a = 0,992\text{m}$  por lo que entre paneles y pasillos se requiere de:

$$\text{Sup} = (s + d) \cdot a = 3,486 \cdot 0,992 \cdot 16 = 55,33\text{m}^2$$

# Gracias

---



▶ Ing. Luis Gastón Clement



▶ 2615995371



▶ <https://solterra.com.ar/>