

# Corrientes de fuga capacitivas

Indicaciones para el dimensionado de inversores sin transformador

**SUNNY BOY/SUNNY MINI CENTRAL/SUNNY TRIPOWER**



## Contenido

Todos los módulos fotovoltaicos tienen, acorde a una relación física fundamental, cierta capacidad parásita. Esta capacidad es proporcional a la superficie e inversamente proporcional al grosor. Además, también depende de las características del material y del tipo de montaje. En el caso de los módulos fotovoltaicos de substratos flexibles y de algunos módulos fotovoltaicos cristalinos con dorso metálico integrado, la capacidad parásita es especialmente alta.

En combinación con inversores sin transformador (TL), durante el funcionamiento pueden darse corrientes de desplazamiento tan grandes que se activa el seguimiento integrado de corrientes de defecto del inversor. Esto conlleva además que el inversor se desconecte de la red eléctrica pública durante un breve periodo de tiempo. Por eso, SMA Solar Technology AG recomienda que en tal caso se utilice un inversor con transformador.

A continuación encontrará una explicación acerca de los contextos técnicos que se han de tener en cuenta desde el comienzo de la planificación de una instalación fotovoltaica. Esta información técnica está destinada al fabricante de los módulos fotovoltaicos anteriormente mencionados (a su vez, el fabricante deberá comunicar la información a sus clientes, especialmente a los usuarios de laminados en procesos subsiguientes), al instalador y al planificador.

## 1 ¿Cómo se calcula la capacidad del generador fotovoltaico puesto a tierra?

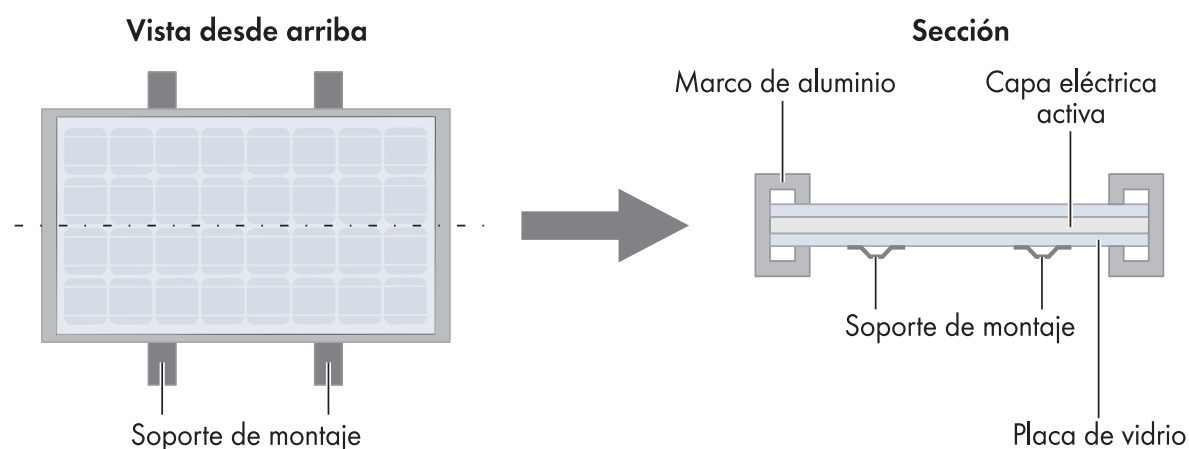


Figura 1: Vista en planta y sección de un módulo fotovoltaico con bastidor de montaje

Un módulo fotovoltaico consta de una superficie eléctrica recargable colocada frente a un bastidor puesto a tierra. Esta combinación de elementos, que acumula carga cuando dispone de tensión, se denomina condensador y su capacidad se suele designar con "C". Dado que esta capacidad se considera un efecto secundario no deseado, se habla también de "capacidad parásita". La capacidad se calcula con la siguiente fórmula y depende de cuatro factores:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot A / d$$

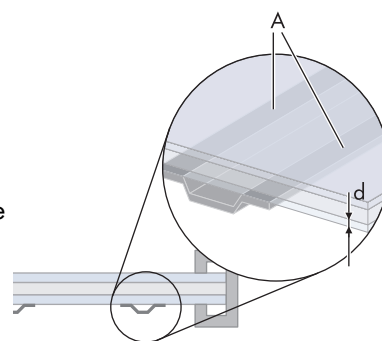
Significado de los factores:

$\epsilon_0$ : Permitividad, constante fundamental:  $8,85 \cdot 10^{-12}$  As/Vm

$\epsilon_r$ : Permitividad relativa, dependiente del material:  $\epsilon_{rAire} = 1$ ;  $\epsilon_{rVidrio} \approx 5-10$

A: Superficie activa del condensador

d: Distancia entre las placas del condensador



¿Qué tipo de superficie A y distancia d utilizar? La decisión no es fácil, dado que no solo hay que tener en cuenta los datos del módulo fotovoltaico, sino también el tipo de montaje. Por este motivo, normalmente no se incluyen indicaciones al respecto en la ficha de datos. Sin embargo, con los tres ejemplos siguientes podrá ver cómo se puede realizar un cálculo aproximado (para el vidrio utilizado se supone un  $\epsilon_r = 6$ ).

### ¡PRECAUCIÓN!

**Además de los factores constructivos anteriormente mencionados, hay que contar con posibles factores climáticos. Así, por ejemplo, una humidificación continua con agua podría aumentar considerablemente la superficie activa.**

#### Ejemplo 1: Módulo fotovoltaico vidrio/vidrio sin marco con marco de aluminio sobre soporte de montaje (aire libre)

Condiciones:

- El módulo tiene una superficie de 1 m<sup>2</sup>.
- El módulo tiene un grosor de 1 cm.
- La capa eléctrica activa se encuentra exactamente en el medio, entre el vidrio frontal y el vidrio trasero.
- Solo un 10 % de la superficie del módulo se apoya directamente sobre el soporte metálico inclinado puesto a tierra.
- Entre el suelo y el módulo hay una distancia de 1 m.

El 10 % de la superficie que se apoya sobre el bastidor constituye un condensador con una superficie de 0,1 m<sup>2</sup> y una distancia entre las placas de 0,005 m. De ello resulta una capacidad de aprox. 1 nF. El 90 % de la superficie restante en contacto con el suelo es una superficie de 0,9 m<sup>2</sup> y hay una distancia de 1 m. La capacidad es de tan solo 0,05 nF, una cantidad insignificante. Por lo tanto, la capacidad total de un módulo puesto a tierra es de aprox. 1 nF.

#### Ejemplo 2: Módulo vidrio/vidrio con marco de aluminio (montaje en tejado)

Condiciones:

- El módulo tiene una superficie de 1 m<sup>2</sup>.
- El módulo tiene un grosor de 2 cm.
- La capa eléctrica activa se encuentra exactamente en el medio, entre el vidrio frontal y el vidrio trasero.
- El módulo se apoya directamente sobre el tejado puesto a tierra.

La superficie total está a tan solo 1 cm de distancia del tejado. Si el tejado está puesto a tierra, el condensador tendrá una superficie de 1 m<sup>2</sup> y la distancia entre las placas será de 0,01 m. De ahí que la capacidad parásita de un módulo puesto a tierra es de aprox. 5 nF.

**Ejemplo 3: Módulo de capa fina y soporte flexible**

Condiciones:

- El módulo tiene una superficie de 1 m<sup>2</sup>.
- El módulo tiene un grosor de 2 mm.
- La capa eléctrica activa se encuentra exactamente en el medio, entre la lámina frontal y la lámina trasera.
- El módulo laminado va colocado directamente sobre el tejado de aluminio.

La superficie total está a tan solo 1 mm de distancia del tejado. De esto resulta un condensador con una superficie de 1 m<sup>2</sup> y una distancia entre las placas de 0,001 m. De ahí que la capacidad parásita de un módulo puesto a tierra es de aprox. 50 nF.

## 2 ¿Cómo se origina una corriente de derivación capacitiva?

Durante el funcionamiento, el módulo fotovoltaico está conectado a la red de corriente alterna mediante el inversor. En función del tipo de equipo, una parte de la amplitud de tensión alterna llega al módulo. Aquí hay que diferenciar dos casos (véase el gráfico también):

### **Inversores sin transformador**

En casi todos los inversores **monofásicos** sin transformador es una condición del servicio que se transmita la mitad de la amplitud de red al módulo fotovoltaico. La disposición oscila con una frecuencia de 115 V/50 Hz. Este es el caso de los Sunny Boy/Sunny Mini Central/Sunny Tripower con la marca "TL" en el nombre del producto.

En los inversores **trifásicos** sin transformador, se suprime la mayor parte la transmisión de la tensión alterna hacia el módulo. Este es el caso de todos los Sunny Tripower.

## Inversores con transformador

En los inversores con transformador, la tensión del módulo fotovoltaico fluctúa solo lo que se denomina un "rizado" (o "ripple") de pocos voltios.

La tensión oscilante cambia continuamente el estado de carga del condensador fotovoltaico parásito. Para eso hay conectada una corriente de desplazamiento proporcional a la capacidad y a la amplitud de tensión aplicada.

**Para expertos:** es posible calcular la corriente de desplazamiento (valor eficaz) físicamente, como sigue:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t} = C \cdot 2\pi \cdot f \cdot U$$

En la fórmula,  $f = 50 \text{ Hz}$  es la frecuencia de red y  $U$  es el valor eficaz de la tensión alterna del generador fotovoltaico (aprox.  $2 \text{ V}$  en un inversor con transformador y  $115 \text{ V}$  sin transformador). Esta corriente de derivación es una corriente reactiva cuya fase está movida  $90^\circ$  con respecto a la tensión de red. Está, por lo tanto, exenta de pérdidas.

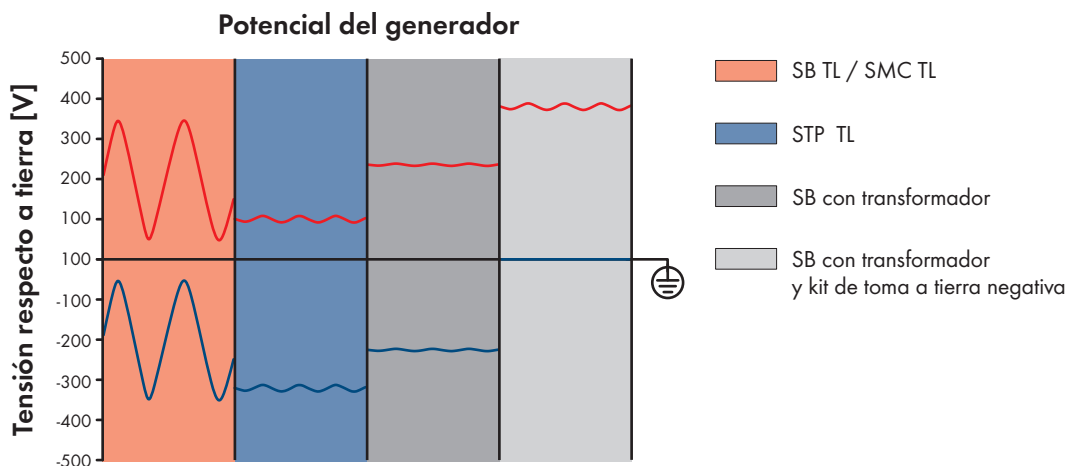


Figura 2: El potencial de los módulos fotovoltaicos inferior (azul) y superior (rojo) de un string depende del inversor utilizado y de si el polo del generador está puesto a tierra. Ejemplo con una tensión MPP de  $400 \text{ V}$ .

### 3 ¿Cómo influye la corriente de derivación en la detección de corrientes de defecto?

La corriente de derivación capacitiva descrita en el apartado 2 es una corriente reactiva (exenta de pérdidas). Sin embargo, si por motivo de un fallo, por ejemplo un aislamiento averiado, un cable conductor de tensión entra en contacto con una persona puesta a tierra (véase la imagen 3), fluye además una corriente llamada corriente de defecto. La suma de ambas corrientes (corriente de derivación y corriente de defecto) se denomina corriente diferencial.

$$\text{Corriente diferencial} = \text{corriente de derivación} + \text{corriente de defecto}$$

Una corriente de defecto mayor de 30 mA puede suponer un peligro mortal para las personas.

Para garantizar una protección total y adicional a la ofrecida por el aislamiento, deberán desconectarse de la red eléctrica pública los equipos eléctricos como muy tarde cuando se produzca una corriente de defecto de 30 mA (norma alemana DIN VDE 0126-1-1). En los inversores sin transformador no es posible realizar esta medición durante el funcionamiento. Por esta razón la medición debe realizarse indirectamente mediante un dispositivo de control de corrientes de defecto sensible a la corriente universal (RCMU). Sin embargo, este dispositivo solo puede medir la corriente diferencial (corriente de derivación + corriente de defecto). El cálculo de la corriente de defecto no es siempre posible y resulta más difícil cuanto mayor sea la corriente de derivación. A partir de aprox. 50 mA, las oscilaciones ocasionales de la corriente de derivación son tan fuertes que podrían interpretarse como una corriente de defecto repentina de más de 30 mA. En tal caso y como medida de precaución, el inversor se desconecta automáticamente de la red eléctrica pública. Los inversores con transformador pueden medir la corriente de defecto directamente durante el funcionamiento. La medición no se ve afectada por la corriente de derivación. Solo se deben desconectar mucho después, con una corriente de derivación de 300 mA (prevención de incendios).

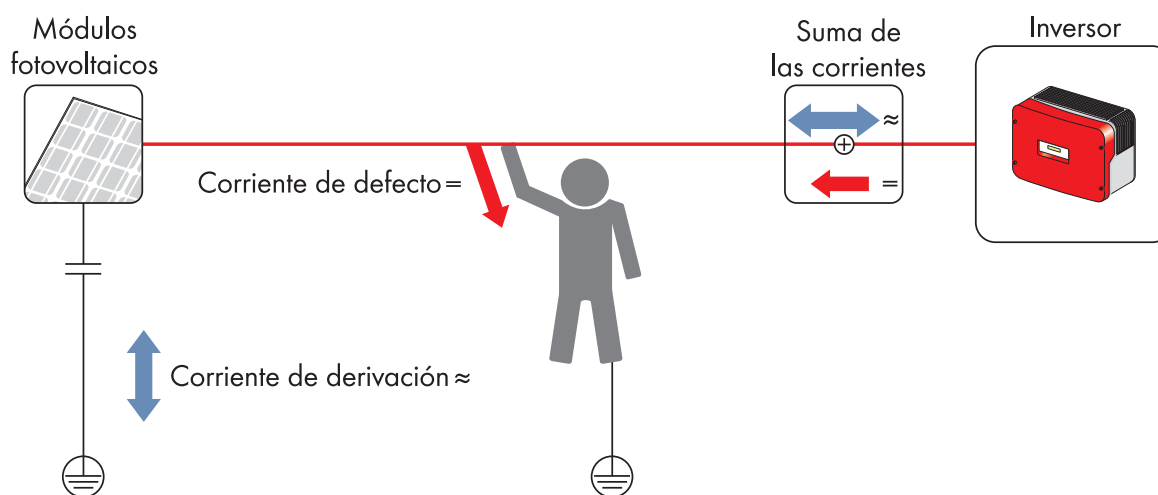


Figura 3: Formación de corriente de defecto cuando un cable conductor de tensión entra en contacto con una persona puesta a tierra

## 4 ¿A partir de cuándo puede ser esto problemático?

---

### Capacidad límite

Como ya se ha descrito anteriormente, para garantizar el funcionamiento del seguimiento integrado de corrientes de defecto hay que evitar corrientes de derivación superiores a 50 mA. Dado que la corriente de derivación depende directamente de la capacidad del módulo fotovoltaico puesto a tierra, es posible establecer una capacidad límite para cada tensión de red a partir de la cual se puede contar con un servicio susceptible a las interferencias.

**En el caso de los transformadores monofásicos sin transformador, con la fórmula ya mencionada:  $I = C \cdot 2\pi \cdot f \cdot U$  (con  $I = 50 \text{ mA}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$  y  $U = 115 \text{ V}$ ) se calcula una capacidad límite de aprox. 1 400 nF.**

**El Sunny Tripower posee una capacidad límite de 2 560 nF.**

#### Para expertos: fórmula empírica

Se toman los siguientes valores en la fórmula antes mencionada para calcular la capacidad:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As / Vm};$$

$$\epsilon_{r\text{Vidrio}} = 6$$

Así se obtiene de  $C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot A / d \rightarrow C [\text{nF}] \approx 50 \cdot A [\text{m}^2] / d [\text{mm}]$ .

Es válida la siguiente fórmula de aproximación:

$$\mathbf{C [\text{nF}] \approx 50 \cdot A [\text{m}^2] / d [\text{mm}]}$$

Sin embargo, los valores arriba mencionados raramente se alcanzan en la práctica. Un amplio estudio de campo reveló que en la mayoría de los módulos vidrio/vidrio los valores de la fórmula empírica son valores máximos que solo se alcanzan cuando llueve fuertemente. El rocío matutino también aumenta los valores, que disminuyen a niveles muy bajos en los momentos de mejor rendimiento (luz solar). La corriente de derivación de 7 mA que se mide en esos momentos también se debe en parte a las capacidades del inversor.

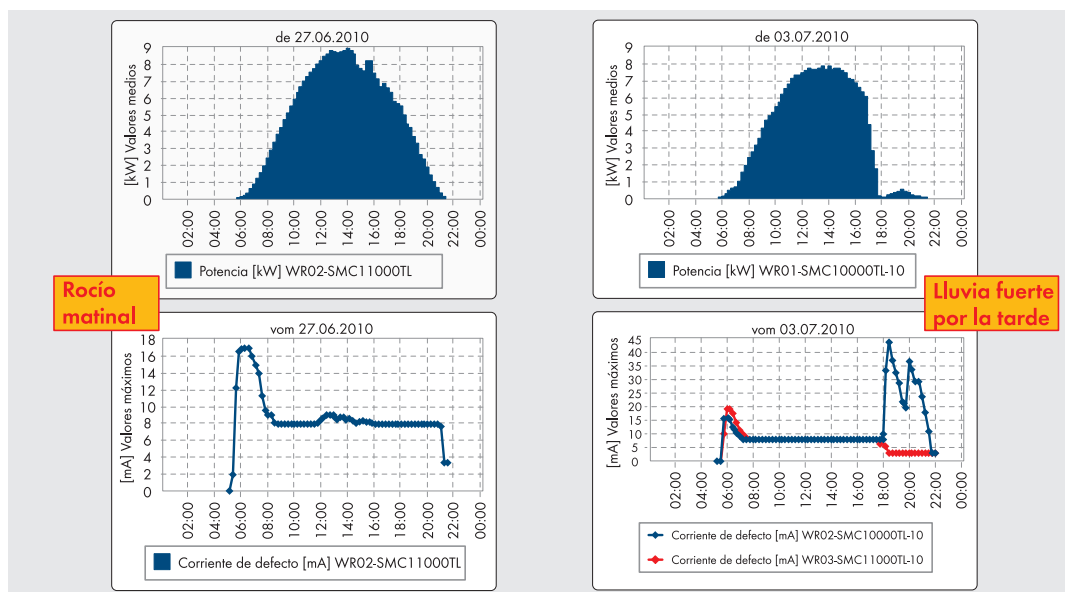


Figura 4: Comportamiento de la capacidad límite de los módulos vidrio/vidrio con rocío y lluvia intensa

## 5 Lista de comprobación

Ya durante la fase de planificación de cada instalación fotovoltaica deberían comprobarse los requisitos anteriormente mencionados. Se recomienda que en caso de duda se incluya al fabricante del módulo fotovoltaico en el proceso de planificación. Esto resulta especialmente importante si se va a utilizar por primera vez un tipo de módulo con un inversor sin transformador.

Además, recomendamos realizar la comprobación siguiendo los siguientes pasos:

1. ¿Presenta el módulo fotovoltaico que comprueba las características descritas (laminado, dorso metálico integrado)?

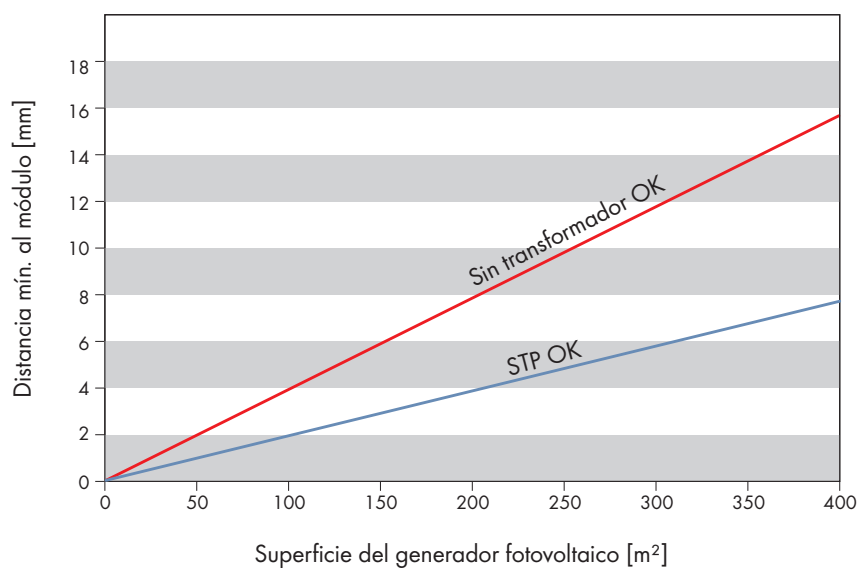
Si las presenta, intente calcular la capacidad parásita teniendo en cuenta los siguientes puntos.

2. Establezca la distancia del módulo fotovoltaico al tejado y la superficie del módulo.

¿Está esta distancia dentro de la zona roja inferior mostrada en el gráfico?

Si está dentro, SMA Solar Technology AG recomienda la utilización de un Sunny Boy/Sunny Mini Central con transformador.





3. Si, a pesar de todo, desea utilizar un inversor sin transformador, póngase en contacto con el fabricante del módulo fotovoltaico. ¿Se conoce algún aspecto de la capacidad parásita?
4. La forma más segura de localizar posibles problemas durante el montaje y el funcionamiento de una instalación fotovoltaica es la autorización del diseño de la instalación por parte del fabricante del módulo fotovoltaico. SMA Solar Technology AG está a disposición del fabricante del módulo para ayudar en esta tarea.

**Contacto**

Service@SMA-Iberica.com

Tel: +34 902 14 24 24