

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro
<http://oscarperpinan.github.io>

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Contacto Directo e Indirecto

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Contacto Directo: contacto de personas o animales con partes activas de los materiales y equipos

Contacto Indirecto: contacto de personas o animales con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento.

Partes Activas: Conductores y piezas conductoras bajo tensión en servicio normal. Incluyen el conductor neutro o compensador y las partes a ellos conectadas.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Masa: Conjunto de las partes metálicas de un aparato que, en condiciones normales, están aisladas de las partes activas.

Tierra: Masa conductora de la tierra en la que el potencial eléctrico en cada punto se toma, convencionalmente, igual a cero.

Toma de tierra: Electrodo, o conjunto de electrodos, en contacto con el suelo y que asegura la conexión eléctrica con el mismo.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Material de clase 0: Material en el cual la protección contra el choque eléctrico se basa en el aislamiento principal; lo que implica que no existe ninguna disposición prevista para la conexión de las partes activas accesibles, si las hay, a un conductor de protección que forme parte del cableado fijo de la instalación. La protección en caso de defecto en el aislamiento principal depende del entorno.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Material de clase I: la protección contra el choque eléctrico no se basa únicamente en el aislamiento principal, sino que comporta una medida de seguridad complementaria en forma de medios de conexión de las partes conductoras accesibles a un conductor de protección puesto a tierra, que forma parte del cableado fijo de la instalación, de forma tal que las partes conductoras accesibles no puedan presentar tensiones peligrosas.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Material de clase II: la protección comporta medidas de seguridad complementarias, tales como el doble aislamiento o aislamiento reforzado. Estas medidas no suponen la utilización de puesta a tierra para la protección y no dependen de las condiciones de la instalación. Este material debe estar alimentado por cables con doble aislamiento o con aislamiento reforzado.

Material de clase III: la protección no se basa en la alimentación a muy baja tensión y en el cual no se producen tensiones superiores a 50 V en c.a. ó a 75V en c.c.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Tensión de contacto

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Tensión de contacto: Tensión que aparece entre partes accesibles simultáneamente, al ocurrir un fallo de aislamiento. Por convenio este término solo se utiliza en relación con la protección contra contactos indirectos. En ciertos casos el valor de la tensión de contacto puede resultar influido notablemente por la impedancia que presenta la persona en contacto con esas partes.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Tensión de defecto

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Tensión de defecto: Tensión que aparece a causa de un defecto de aislamiento, entre dos masas, entre una masa y un elemento conductor, o entre una masa y una toma de tierra de referencia, es decir, un punto en el que el potencial no se modifica al quedar la masa en tensión.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Esquemas de conexión a tierra

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>

Primera letra: conexión de alimentación y tierra

T= conexión directa de un punto de alimentación a tierra.

I= aislamiento de todas las partes activas respecto a tierra

Segunda letra: conexión de masas con tierra

T= masas conectadas directamente a tierra, independientemente de conexión de alimentación

N= masas conectadas directamente a punto de alimentación puesto a tierra (en alterna, normalmente el neutro)

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Esquemas de conexión a tierra

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

TT: en alterna, neutro puesto a tierra y masas a tierra, pero de forma independiente.

Instalaciones receptoras en una red de distribución pública de BT.

TN: en alterna, neutro puesto a tierra, y masas conectadas al neutro (directamente o a través de un conductor de protección).

IT: todos los conductores activos aislados de tierra, y masas conectadas a tierra.

Esquema habitual en zona del generador FV en SFCR europeos.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Esquemas de conexión a tierra

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

En un sistema fotovoltaico es de uso común que el esquema de tierra sea **IT en la zona del generador fotovoltaico** y **TT a partir de la salida del inversor**.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Intensidad y tiempo de contacto

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ Hasta 10 mA no genera efectos peligrosos (calambres).
- ▶ Por encima de 500 mA puede producir fibrilación muscular.
- ▶ La **intensidad** que circula **depende de la tensión de contacto y la resistencia expuesta**.
 - ▶ Reducir tensión.
 - ▶ Aumentar resistencia (guantes, calzado, aislamiento del suelo)

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Trayectoria de la corriente

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Definiciones

Protección de las
personas

Efectos de la corriente
eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

- ▶ La trayectoria se realiza siguiendo la ruta más corta o la de menor resistencia.
- ▶ Los efectos son más graves si en la trayectoria se encuentran órganos vitales.
- ▶ Además, los efectos dependen de la edad, el sexo, el estado físico, la fatiga, el miedo...

Resistencia del cuerpo

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ No es homogénea: cada parte del cuerpo presenta valores diferentes.
- ▶ No es estable con el tiempo: depende de la duración del contacto y de la tensión aplicada (disminuye con la tensión!).
- ▶ Depende del estado de la piel, sudoración, estado físico, superficie de contacto, presión.

Definiciones

Protección de las
personas

Efectos de la corriente
eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

- ▶ Continua:
 - ▶ Umbral de percepción: 2 mA
 - ▶ Umbral control muscular: 75 mA
 - ▶ Menos peligrosa que alterna convencional. Puede producir electrolisis de la sangre.
- ▶ Alterna 50 Hz:
 - ▶ Umbral de percepción: 0.5 mA
 - ▶ Umbral de control muscular: 15 mA
- ▶ Alterna 10 kHz:
 - ▶ Umbral de percepción: 5 mA
 - ▶ Umbral de control muscular: 75 mA
 - ▶ Debido al efecto pelicular, los efectos son menores que la alterna convencional (la corriente circula por la piel, sin atravesar organos internos).

Definiciones

Protección de las
personas

Efectos de la corriente
eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los
equípos

Resumen de
protecciones

Tensión y corriente de seguridad

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
<http://oscarperpinan.github.io>

- ▶ Se establecen dos condiciones: **emplazamientos secos o húmedos** (instalaciones de interior); **emplazamientos mojados** (instalaciones en intemperie).
- ▶ Se define como tensión de seguridad la tensión de contacto máxima admisible durante al menos cinco segundos. Para emplazamientos secos es de 120 Vcc y 50 Vca; para **emplazamientos mojados es de 60 Vcc y 24 Vca**.
- ▶ **La corriente máxima admisible se fija en 30 mA para AC y 100 mA para CC.**

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

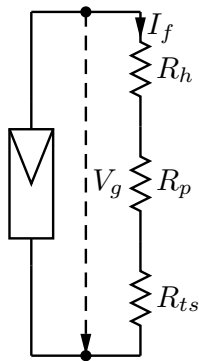
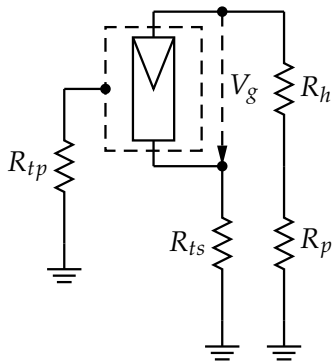
Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Contacto Directo TT

$$I_{F,max} = \frac{V_{ocG}}{R_H + R_p + R_{ts}}$$



Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

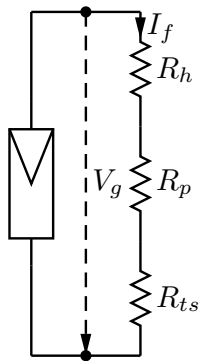
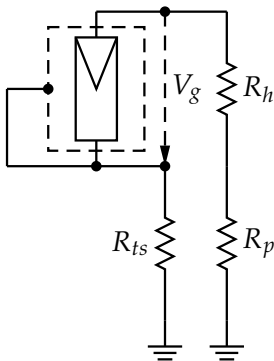
Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Contacto Directo TN

$$I_{F,max} = \frac{V_{ocG}}{R_H + R_p + R_{ts}}$$



Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

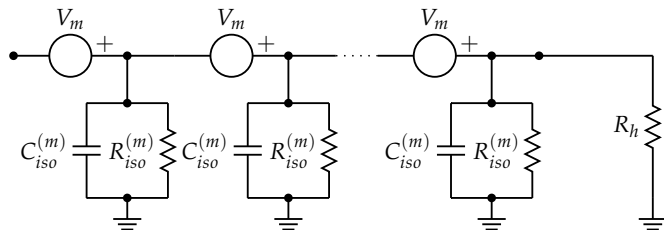
Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Contacto Directo IT



$$I_f \leq 100 \text{ mA} \implies R_{iso} \geq 10 \cdot V_{ocG} - R_H$$

Se necesitan tensiones de generador superiores a los 1000 V para producir dolor, y tensiones superiores a los 3000 V para que exista riesgo por fibrilación.

REBT: Contactos Directos

Según la ITC-BT-24 las protecciones a utilizar para proteger frente a contactos directos deben estar **basadas en evitar que una persona pueda entrar en contacto con las partes activas** de la instalación, e incluye una protección complementaria cuando las anteriores no consiguen su objetivo:

- ▶ Protección por **aislamiento de las partes activas**
- ▶ Protección por medio de **barreras o envolventes**
- ▶ Protección por medio de **obstáculos**
- ▶ Protección por puesta **fuera de alcance** por alejamiento
- ▶ Protección complementaria por **dispositivos de corriente diferencial-residual**

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
<http://oscarperpinan.github.io>

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

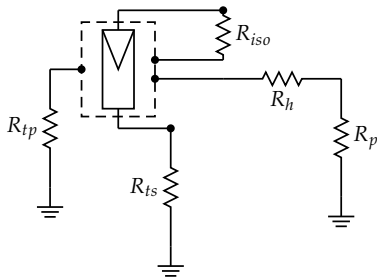
Resumen de protecciones

Contacto Indirecto TT

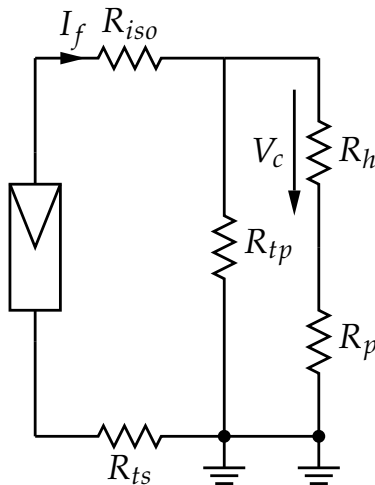
SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>



$$V_c \simeq I_{scG} \cdot R_{tp}$$



Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

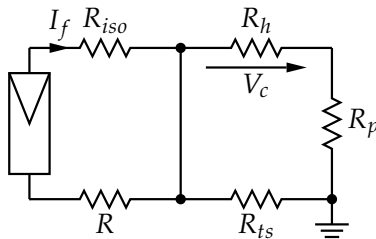
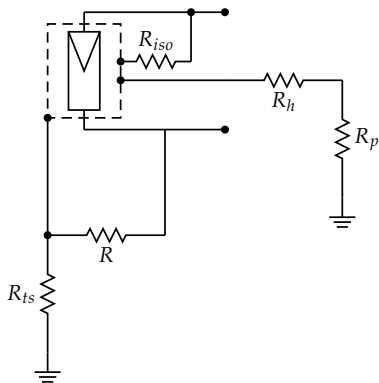
Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

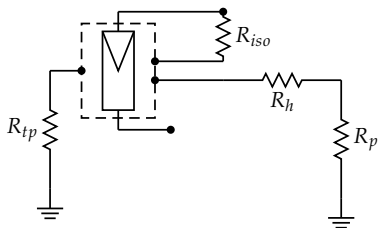
Contacto Indirecto TN



$$V_c = 0$$

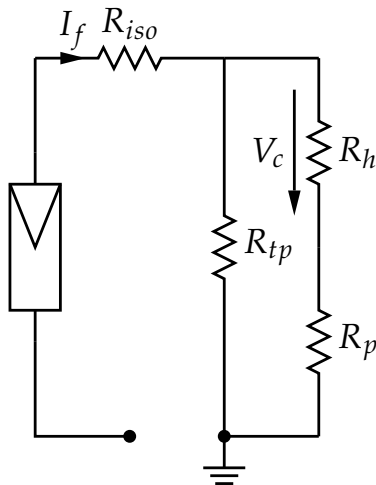
$$I_{F,max} = \frac{V_{ocG}}{R_{iso} + R}$$

Contacto Indirecto IT



$$V_c = 0$$

$$I_F = 0$$



Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

REBT: Contactos Indirectos

Esta misma ITC-BT-24 recoge las formas de protección para contactos indirectos:

- ▶ Protección por **corte automático de la alimentación**: cuando se produce el contacto, el objetivo es evitar que la fuente eléctrica siga alimentando la fuga.
- ▶ Protección por empleo de **equipos de clase II o por aislamiento equivalente**, con la misión de alcanzar resistencias de aislamiento de alto valor y estables en el tiempo.
- ▶ **Puesta a tierra**, como camino preferente para conducir la corriente de fuga y para servir de potencial común para todos los elementos que entran en contacto con ella.

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>

Definiciones

Protección de las personas

Efectos de la corriente eléctrica

Contacto Directo

Contacto Indirecto

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Resistencia para conexión TT

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

$$R_{tp} \leq \frac{V_{max}}{I_f}$$

Ejemplo

Una instalación fotovoltaica se considera local mojado, así que $V_{max} = 60 \text{ V}$. Al ser corriente continua $I_{max} = 100 \text{ mA}$. Si este generador fotovoltaico utiliza el esquema TT será $R_{tp} \leq 600 \Omega$.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Resistencia para IT con una falta a tierra

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

$$R_{tp} \leq \frac{V_{max}}{I_{sc}}$$

Ejemplo

Suponiendo $I_{sc} = 150 \text{ A}$, la resistencia de la puesta a tierra debe ser ahora $R_{tp} \leq 0,4 \Omega$.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Práctica común

Este segundo cálculo arroja un **valor difícilmente alcanzable** en un terreno con valores de resistividad eléctrica normales **dentro de ciertos costes razonables**. En general, se suele adoptar como requisito mínimo

$$R_{tp} \leq \frac{V_{max}}{I_f}$$

aplicado a la zona de corriente alterna (por tanto, empleando $V_{max} = 24 \text{ V}$ y $I_{max} = 30 \text{ mA}$).

Con este primer resultado se diseña un sistema de puesta a tierra y se intenta mejorar para alcanzar

$$R_{tp} \leq \frac{V_{max}}{I_{sc}}$$

aplicada al generador fotovoltaico.

Cálculo de la resistencia de tierra

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

- ▶ **Resistencia de puesta a tierra:** Para una pica vertical $R_t = \frac{\rho}{L}$, siendo ρ la resistividad del terreno y L la longitud de la pica.

- ▶ **Resistividad en función del terreno**

Terrenos cultivables fértiles	50 Ω m
Terrenos cultivables poco fértiles	500 Ω m
Suelos pedregosos	3000 Ω m

Cálculo de la resistencia de tierra

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
<http://oscarperpinan.github.io>

- **Electrodos en paralelo:** Para mejorar la resistencia de toma de tierra, se utilizan varios electrodos interconectados, situados a distancias del orden de 10 m. De esta forma, **la resistencia equivalente es (aproximadamente) el paralelo de las individuales.**

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Por ejemplo

Para conseguir una $R_t = 5 \Omega$ en un terreno con $\rho = 100 \Omega \text{ m}$ se deberán utilizar aproximadamente 10 picas de una longitud de 2 metros (cada una de ellas tendrá una resistencia $R_{t,i} = 50 \Omega$).

Tomas de tierra existentes

A la hora de realizar puestas a tierra en lugares donde ya existen tomas a tierra que pertenecen a otras instalaciones eléctricas.

- ▶ Cuando corresponda a la **instalación de Baja Tensión del edificio se utilizará la puesta a tierra existente** para conectar las masas del sistema fotovoltaico.
- ▶ Cuando corresponde al **neutro de Media Tensión del transformador de la compañía eléctrica** es necesario **separarse suficientemente** para no interferir en su funcionamiento. Para terrenos de resistividad no elevada ($\rho < 100 \Omega \text{ m}$), esta condición se cumple para distancias superiores a 15 m.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de protecciones

Formación de las tormentas

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>

Definiciones

Protección de las personas

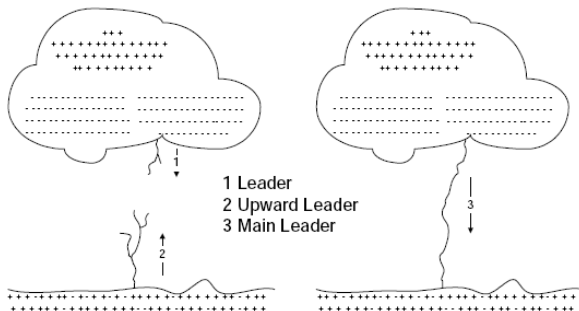
Puesta a tierra

Protección de los equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de protecciones



Formación de las tormentas

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ Dentro de los núcleos tormentosos, las cargas positivas ascienden a las capas superiores de las nubes. Esta separación de cargas produce un campo eléctrico.
- ▶ Por otra parte, las cargas negativas de las capas inferiores atraen las cargas positivas en superficie terrestre.
- ▶ Cuando el campo eléctrico interno de la nube alcanza la ruptura del aire, se producen descargas eléctricas. Esta descarga comienza en la nube con un trazador descendente hacia la superficie terrestre.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas
Protecciones

Resumen de
protecciones

Encuentro entre trazadores

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ Cuando el trazador descendente se acerca a una distancia de entre 10 a 100 m de la tierra, se generan diversos trazadores ascendentes desde la superficie en busca del trazador descendente.
- ▶ Aquel trazador ascendente que conecta con el descendente cierra la descarga y determina el lugar del impacto.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de
protecciones

Influencia de las condiciones locales

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ La descarga está determinada principalmente por el campo eléctrico interno de la nube, con una menor influencia debida a las condiciones de la superficie terrestre.
- ▶ Cuando el trazador se encuentra a una distancia de entre 10 a 100 metros, las condiciones locales suponen una mayor influencia.
- ▶ Las construcciones metálicas de mayor altura (antenas) o superficie (instalaciones fotovoltaicas) favorecen la formación de trazadores ascendentes que conecten con el descendente.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Tormentas eléctricas
Protecciones

Resumen de protecciones

Influencia de los sistemas fotovoltaicos

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Por tanto, **las instalaciones fotovoltaicas no aumentan la probabilidad de descargas locales** (determinadas por las nubes), pero una vez que se producen, son lugares con mayor probabilidad de impacto.

Definiciones

Protección de las
personas

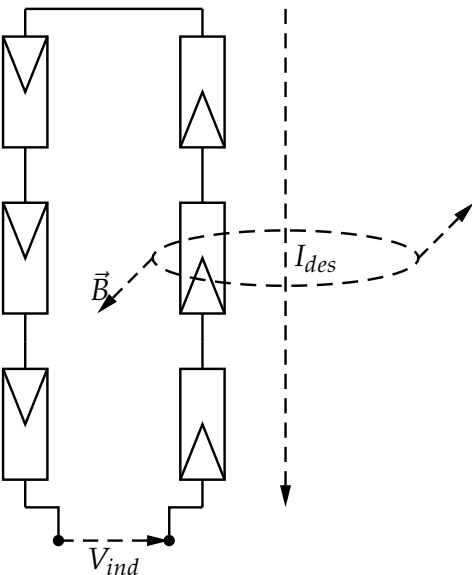
Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas
Protecciones

Resumen de
protecciones

Descarga y campo magnético



- ▶ Una descarga eléctrica supone una corriente de gran valor en un lapso de tiempo muy corto.
- ▶ Esta corriente produce una inducción magnética a su alrededor, también de carácter variable.
- ▶ Un flujo magnético variable produce una fuerza electromotriz entre los extremos del área atravesada.

Factores de influencia

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

La fuerza electromotriz inducida depende de:

- ▶ **Valor de la inducción magnética** (depende de la tormenta).
- ▶ **Distancia** de la descarga al sistema (depende principalmente de la tormenta).
- ▶ **Area efectiva del sistema** (depende del diseñador y del instalador).

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de protecciones

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Tormentas eléctricas

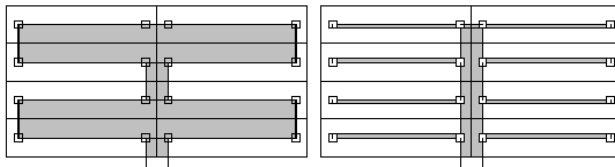
Protecciones

Resumen de protecciones

Area y cableado

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)



Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de
protecciones

Un sistema de protección externa contra el rayo se compone de:

- ▶ Terminal aéreo (punta)
- ▶ Conductor(es) de bajada (interconectados)
- ▶ Puesta a tierra.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

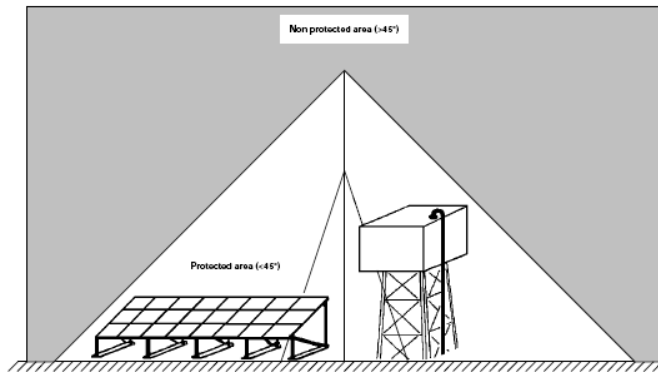
Resumen de
protecciones

Protección externa

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>



Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de protecciones

- ▶ Se debe calcular una **distancia de seguridad** entre la bajada del pararrayos y las instalaciones metálicas cercanas.
- ▶ Se asume que una distancia mayor a 1 metro es superior a la distancia de seguridad.
- ▶ **Si la distancia es inferior a la de seguridad**, el sistema de puesta a tierra de la protección externa y la estructura metálica deben **interconectarse** para evitar la existencia de descargas entre conductores.
- ▶ **Si la distancia es superior a la de seguridad**, los sistemas de puesta a tierra deben ser **independientes**.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas
Protecciones

Resumen de
protecciones

- ▶ **Todas las masas deben estar conectadas a un sistema de puesta a tierra.** En general, la estructura de soporte se conecta directamente a tierra, pero no el marco de los módulos.
- ▶ En la entrada/salida de cada elemento a proteger se instalan **supresores de tensión (varistores)** entre conductores activos y tierra.
- ▶ Es importante tener en cuenta que cuando un varistor actúa, realiza un cortocircuito entre sus conexiones.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de
protecciones

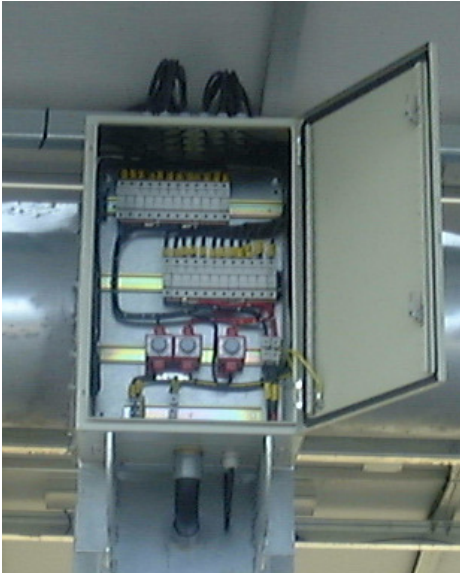
Protecciones Internas

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Tormentas eléctricas

Protecciones



Protecciones Internas

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)



Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Tormentas eléctricas

Protecciones

Resumen de
protecciones

Definiciones

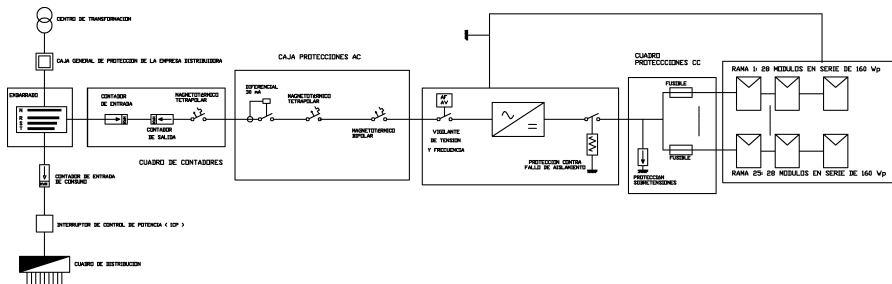
Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Diagrama Unifilar



Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Tres niveles de protección

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Todo el sistema de protección para sistemas IT se puede concebir en tres niveles:

- ▶ Nivel 1: Refuerzo del aislamiento de las partes activas.
- ▶ Nivel 2: Sistema de detección de aislamiento.
- ▶ Nivel 3: Puesta a tierra.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Nivel 1: Refuerzo del aislamiento de las partes activas.

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Configuración flotante del generador: se imposibilitan los accidentes por la aparición de contactos indirectos de primer contacto.

Cableado con aislamiento de protección: Estos aislamientos refuerzan la protección contra contactos indirectos.

Aislamiento galvánico AC-DC: Mediante transformadores de devanados independientes en los inversores se imposibilita el cierre de corriente de fallo a través del inversor.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Nivel 2: Sistema de detección de aislamiento.

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Vigilante de aislamiento: Este elemento genera una señal de baja frecuencia (2 a 5 Hz) para evitar las fugas capacitivas del cableado, y que inyecta en un polo activo midiendo la corriente de retorno, y por tanto, la resistencia de aislamiento.

En caso de pérdida de aislamiento, el vigilante ordena el disparo de los interruptores aislando el campo fotovoltaico afectado. La orden provoca la desconexión del inversor, el cortocircuito del campo y la puesta a tierra del mismo.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Nivel 3: Protección en caso de fallo de los niveles 1 y 2:

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC

En caso de fallo de los niveles anteriores aún queda la protección proporcionada por la puesta a tierra directa de todas las masas de la planta. Gracias a ella se limitara la tensión que con respecto a tierra puedan adquirir las masas en caso de derivación.

- ▶ El **cortocircuito** es un punto de trabajo **no peligroso para el generador fotovoltaico**.
- ▶ El cortocircuito puede, sin embargo, ser **perjudicial para el inversor**. Como medio de protección se incluyen fusibles de tipo gG normalizados según EN 60269 en cada polo.
- ▶ Para las personas es **peligrosa la realización o eliminación de un cortocircuito franco en el campo generador**, por la posibilidad de que se establezca un arco eléctrico. Es recomendable la **conducción separada** del positivo y del negativo para evitar cortocircuitos por pérdida de aislamiento.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

- ▶ El **fusible por rama** sirve principalmente como **elemento de seccionamiento** (facilita las tareas de mantenimiento). Debe elegirse mediante:

$$I_B < I_n < I_z$$

$$I_2 < 1.45 \cdot I_z$$

siendo I_B la intensidad de diseño de la línea, I_n la intensidad nominal del dispositivo de protección, e I_z es la intensidad admisible por el conductor e I_2 la intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección.

- ▶ Suele utilizarse $I_n \geq 1.25 \cdot I_{scG}$. Para fusibles, normalmente $I_2 = 1.6 \cdot I_n$

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

- ▶ En las instalaciones eléctricas convencionales es frecuente el empleo de fusibles (y otros elementos de protección) en cascada con poder de corte creciente en dirección al punto de conexión a red.
- ▶ Esta práctica se basa en que, en la red convencional, la corriente de cortocircuito es sustancialmente superior a la de operación.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

- ▶ Sin embargo, su traslación directa a los sistemas fotovoltaicos carece de sentido dada la similitud entre ambas corrientes.
- ▶ Aunque puede defenderse su utilidad al permitir el seccionamiento parcial del generador debe tenerse en cuenta que esta funcionalidad la ofrece el portafusibles y no el fusible mismo.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

- ▶ Se protegerá la entrada CC del inversor mediante **varistores** (dispositivos bipolares de protección clase II), válidos para la mayoría de equipos conectados a la red.
- ▶ El dispositivo tendrá una tensión de operación marcada por el diseño del sistema concreto, rango definido entre la tensión de serie para la menor tensión en el punto de máxima potencia y la mayor tensión de circuito abierto.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Cortocircuitos y sobrecargas

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Según el RD 1663-2000 es necesario incluir un **interruptor general manual**, que será un interruptor magnetotérmico omnipolar.

Este interruptor, que se ubica en el cuadro de contadores de la instalación fotovoltaica, será **accesible sólo a la empresa distribuidora**, con objeto de poder realizar la desconexión manual, que permita la realización, de forma segura, de labores de mantenimiento en la red de la compañía eléctrica.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Cortocircuitos y sobrecargas

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ Esta inaccesibilidad obliga a introducir un **segundo magnetotérmico omnipolar** en la instalación, de menor intensidad nominal, que será el que realmente proteja a la instalación AC de las sobrecargas y cortocircuitos.
- ▶ Este segundo magnetotérmico actuará antes que el interruptor general manual, salvo cortocircuitos de cierta importancia provenientes de la red de la compañía.
- ▶ Asimismo, con el fin de dar cierta independencia a las líneas propias de cada inversor, se utilizará un magnetotérmico de menor corriente asignada para cada inversor.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Se utilizarán **magnetotérmicos tipo C**, los utilizados cuando no existen corrientes de arranque de consumo elevadas, cumpliendo:

$$I_B < I_n < I_z$$

$$I_2 < 1.45 \cdot I_z$$

Los interruptores magnetotérmicos normalizados cumplen $I_2 = 1.45 \cdot I_n$.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

Interruptor diferencial

SFCR: Seguridad Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC

- ▶ Un interruptor diferencial está basado en un toroide que enlaza a todos los conductores. Si existe una corriente de defecto, la corriente en cada conductor es diferente. Según la sensibilidad del interruptor, cortará el circuito a partir de un umbral de corriente.
- ▶ Al estar basado en la ley de Faraday (fuerza electromotriz creada un por un flujo magnético variable), **no funciona en circuitos DC**.

Interruptor diferencial

- ▶ En redes de distribución pública la conexión es TT. La corriente de fallo cerrará el circuito a través de la puesta a tierra del neutro del centro de transformación. Por tanto, el diferencial **no** protege el tramo comprendido entre él y el centro de transformación.

Interruptor diferencial

SFCR: Seguridad
Eléctrica

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ La instalación contará con diferencial de 30 mA de sensibilidad en la parte CA, para proteger de derivaciones en este circuito.
- ▶ Con el fin de que sólo actúe por fallos a tierra, será de una corriente asignada superior a la del magnetotérmico de protección.

Definiciones

Protección de las
personas

Puesta a tierra

Protección de los
equipos

Resumen de
protecciones

Circuito DC

Circuito AC

- ▶ Según RD 1663/2000, en que se fijan las condiciones técnicas para la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red, **la puesta a tierra** se realizará de forma que **no altere la de la compañía eléctrica distribuidora**, con el fin de no transmitir defectos a la misma.
- ▶ Asimismo, **las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una tierra independiente de la del neutro** de la empresa distribuidora de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Definiciones

Protección de las personas

Puesta a tierra

Protección de los equipos

Resumen de protecciones

Circuito DC

Circuito AC