

SEGURIDAD ELÉCTRICA DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS CON CONEXIÓN EN BAJA TENSIÓN

ELECTRICAL SECURITY IN PHOTOVOLTAIC PLANTS CONNECTED TO LOW VOLTAGE NETWORKS

Recibido: 20/10/07

Aceptado: 02/01/08

Norberto Redondo Melchor
Doctor, Ingeniero Industrial y
Licenciado en Derecho.
STS Proyectos de Ingeniería

Roberto Carlos Redondo Melchor
Ingeniero Industrial.
Universidad de Salamanca

Félix Redondo Quintela
Doctor en Ciencias Físicas e
Ingeniero Técnico en
Electricidad.
Universidad de Salamanca

Juan Manuel García Arévalo
Doctor Ingeniero Industrial.
Universidad de Salamanca

RESUMEN

El Real Decreto 1663/2000 sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión cita un interruptor diferencial para la seguridad de la parte de continua, que nada contribuye a ella. Aunque hace tiempo que se llegó a un equilibrio práctico entre seguridad real y exigencia formal de la norma, todavía surgen, a veces, dificultades. En este artículo se analizan este y otros aspectos de la seguridad de las plantas fotovoltaicas.

Palabras clave: planta fotovoltaica, interruptor diferencial, Real Decreto 1663/2000, generador flotante, corriente continua

ABSTRACT

Spanish Royal Decree 1663/2000 on the connection of photovoltaic installations to the low voltage network mentions a differential switch used to increase the security of the direct current network, even though it will not work there. Although a practical equilibrium between real security and legal demands was reached long ago, sometimes difficulties arise, even nowadays. This and other aspects of se-

curity in photovoltaic plants are analyzed in this paper.

Keywords: *photovoltaic plant, differential switch, Royal Decree 1663/2000, floating generator, direct current*

INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 1663/2000 de 29 de septiembre de 2000 sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión dedica su artículo once al sistema de protecciones que debe formar parte de ellas. En lo que se refiere a la parte de continua dice: "El sistema de protecciones deberá cumplir las exigencias previstas en la reglamentación vigente. ... incluyendo lo siguiente: ... 2 Interruptor automático diferencial con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte de continua de la instalación"[1].

Es conocido que este punto 2 del artículo 11 ha originado y origina dudas a quienes redactan proyectos de instalaciones fotovoltaicas, ya que, como se verá, la inclusión de un interruptor diferencial en cualquier parte de las instalaciones fotovoltaicas

cas habituales de baja tensión no proporciona "protección a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte de continua de la instalación".

A pesar del tiempo transcurrido desde la promulgación del Real Decreto, y de las dificultades que origina el artículo que se ha citado, no se ha acometido su reforma. Algunos proyectistas incluyen un interruptor diferencial en la instalación que, aunque no influye en la seguridad de la parte de continua a que se refiere el Real Decreto, puede servir para aumentar la seguridad de otras partes, y para cumplir formalmente, ante los órganos de la Administración, la exigencia legal de incluir un interruptor diferencial.

Para tratar de contribuir a aclarar este y otros aspectos de la seguridad de las instalaciones fotovoltaicas de baja tensión, se aborda en este artículo su análisis, y se justificarán las soluciones, a nuestro juicio, más convenientes.

INTERRUPTORES DIFERENCIALES

De la definición de 'interruptor diferencial' se ocupa la primera Instrucción Complementaria del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, la ITC-BT-01 [2]. Hasta que se publicó el Real Decreto 1663/2000 nadie tenía duda de lo que se quería decir con la expresión 'interruptor diferencial': se trataba de un interruptor automático bien identificado, por ser de uso común en los sistemas eléctricos de corriente alterna para fines de protección de las personas.

Los interruptores diferenciales se sitúan en las líneas específicas que

alimentan directamente receptores que pueden ser manejados por usuarios [3], para proteger a estos usuarios del riesgo de contactos eléctricos indirectos. También se colocan al comienzo de instalaciones receptoras más amplias, en el lugar en que estas se conectan al sistema general de distribución. Se trata de interruptores diferenciales de corriente alterna.

Tras la publicación del Real Decreto 1663/2000, y debido al citado punto 2 de su artículo 11, algunos agentes comerciales de empresas de suministro de material eléctrico recibieron peticiones de interruptores diferenciales para corriente continua, realizadas por proyectistas e instaladores. Las respuestas de los proveedores fueron en muchos casos "que no los tenemos", "que no existen interruptores diferenciales de corriente continua" o parecidas a estas.

Interruptores diferenciales para corriente sinusoidal

Los interruptores diferenciales [4] de corriente alterna, los comunes del mercado, funcionan por la fuerza electromotriz que, en un circuito auxiliar del interruptor, induce la corriente diferencial residual de los hilos activos que alimentan la instalación que se quiere proteger, todos los cuales se hacen pasar por él (Fig. 1). La intensidad residual es la suma instantánea de las intensidades de todos los hilos que llegan a esa instalación [2]. Si la instalación a la que protege el interruptor no tiene corrientes de defecto a tierra ni corrientes de fuga [2], la intensidad residual es cero. Si existen esas corrientes de defecto o de fuga, y las intensidades de los hilos activos son sinusoidales de la misma frecuencia, la intensidad residual es también sinusoidal de la misma frecuencia, es

decir, una función del tiempo de la forma $i = \sqrt{2}I\sin 2\pi ft$, donde I es el valor eficaz de la intensidad residual, f es la frecuencia y t es el tiempo. Dentro de ciertos límites de funcionamiento, la fuerza electromotriz que esa intensidad induce es proporcional a su derivada respecto al tiempo:

Pero, las intensidades de la parte de continua de una instalación fotovoltaica, son constantes, no dependen del tiempo, por lo que la intensidad residual i también lo es, y su derivada es, por eso, cero: $e = -M(di/dt) = 0$. Por tanto el interruptor diferencial no la detecta, cualquiera que sea su valor.

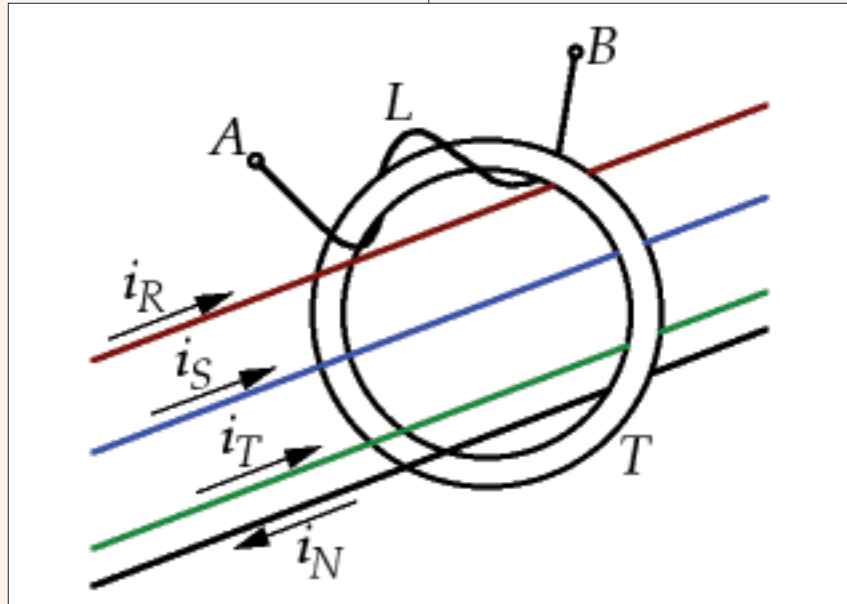


Fig. 1.- Esquema fundamental de un interruptor diferencial.

$i = i_R + i_S + i_T - i_N$ se llama intensidad instantánea residual.

$$e = -M \frac{di}{dt} = 2\sqrt{2}\pi f M I \sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{2}\right)$$

M es un coeficiente de inducción mutua que depende de cada interruptor diferencial. El valor eficaz E de esa fuerza electromotriz, que es igual al valor eficaz V_{AB} de la tensión entre los terminales A y B (Fig. 1) resulta ,

$$E = V_{AB} = E_m / \sqrt{2} = 2\pi f M I = K I$$

proporcional al valor eficaz de la intensidad residual. Esta tensión es la que se aplica a la bobina del relé para que, cuando alcance determinado valor, abra los contactos del interruptor diferencial.

Es decir, si los redactores del Real Decreto 1663/2000 pretendían que se instalara en la parte de continua un interruptor diferencial como los que se utilizan en corriente alterna, estarían imponiendo algo inútil, pues esos interruptores no sirven para detectar corrientes residuales de intensidad constante.

Interruptores diferenciales para corriente continua

Consecuencia inmediata de lo anterior es preguntarse si existen interruptores diferenciales para corriente continua, para que pudieran instalar-

Si la instalación a la que protege el interruptor no tiene corrientes de defecto a tierra ni corrientes de fuga, la intensidad residual es cero

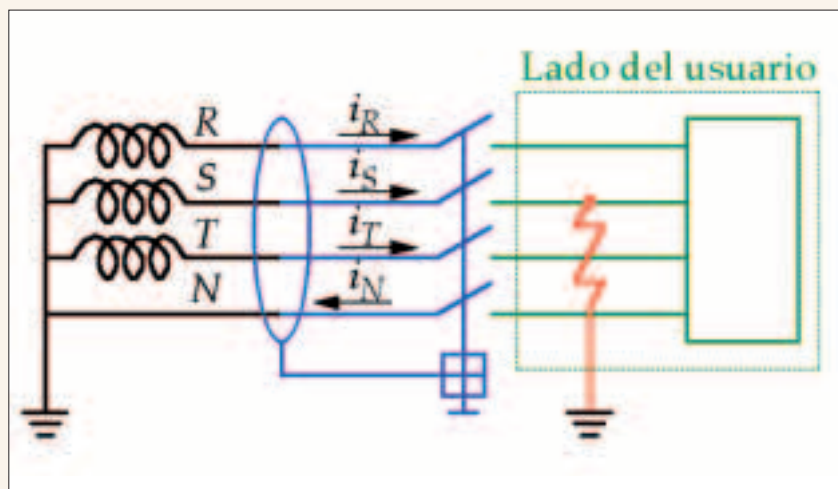


Fig. 2.- En las instalaciones ordinarias de corriente alterna la energía proviene de un transformador con el neutro de su secundario conectado a tierra. La instalación protegida por el interruptor diferencial es, en la figura, la de la derecha de ese interruptor. Si hay corriente a tierra en esa parte de la instalación, la intensidad diferencial residual no es cero, y puede abrir los contactos del interruptor diferencial. Si así ocurre, quedan separadas la fuente de energía y la parte de la instalación protegida por el interruptor diferencial, y cesa la corriente de defecto.

se en la parte de continua de la instalación fotovoltaica. Aquí 'corriente continua' designará cualquier corriente de intensidad constante, independiente del tiempo. Quedan excluidas, por tanto, no solo las corrientes alternas, sino, incluso, corrientes de un solo sentido cuya intensidad no sea constante, como, por ejemplo, corrientes rectificadas de media o doble onda [5].

La respuesta es que, en el comercio, y homologados para los fines que pretendería el Real Decreto 1663/2000, no existen esos interruptores. Pero sí se pueden diseñar, en principio, interruptores diferenciales para intensidad constante. Sin embargo, como veremos enseguida, la inclusión de estos interruptores en la parte de continua de las instalaciones fotovoltaicas habituales, también sería inútil para la protección de las personas en el caso de derivación de algún elemento de esa parte de la instalación.

La protección que proporciona un interruptor diferencial

La protección que proporciona el interruptor diferencial en las instala-

ciones habituales de corriente sinusoidal consiste en separar la instalación que está protegida por él, de la parte de la instalación de la que proviene la energía (Fig. 2). De esa forma, incluso si toda o parte de la corriente de defecto circula ya por el cuerpo de una persona, esa corriente cesa cuando el interruptor diferencial desconecta la parte de la instalación protegida. En estas instalaciones la fuente de energía es la red exterior, la red pública.

Pero en una instalación fotovoltaica la fuente de energía de la parte de continua son las placas fotovoltaicas.

Por tanto, quizá los redactores del Real Decreto pretendieran que esa parte, la fuente de energía de la parte de continua, o sea, las placas, se separara del resto de la instalación de corriente continua por medio de un interruptor diferencial cuando haya una derivación. Pero ese resto de la instalación de corriente continua es solo una mínima parte de ella, en concreto solo las líneas que van desde las placas al convertidor. Un interruptor que desconecte de las placas esas líneas, hace, desde luego, que la tensión en las líneas se anule, pues los convertidores, al faltar tensión en el lado de continua, también desconectan del lado de alterna. Pero el resto de la instalación de continua, la práctica totalidad de esta instalación y la más accesible, que son las placas, no quedan separadas de la fuente de energía, que son ellas mismas (Fig. 3).

Por tanto, si se pudiera conseguir por medio de un interruptor diferencial instalado en el lado de continua algún grado de protección "a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte de continua de la instalación", ese interruptor diferencial habría de realizar alguna función distinta de la que acostumbra a realizar los interruptores diferenciales, es decir, distinta de separar la fuente de energía. El autor del artículo de la referencia [6] trata de encontrar algún diseño que incluya un interruptor en la parte de continua con este fin, sin que consiga llegar a ninguna solución verdaderamente útil.

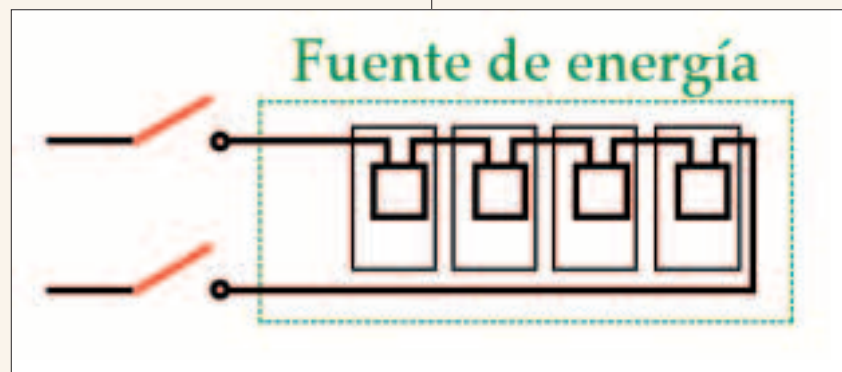


Fig. 3.- Las placas fotovoltaicas, que son el componente principal de la parte de continua de una instalación fotovoltaica, no pueden ser separadas de la fuente de energía por ningún interruptor, pues ellas mismas son fuente de energía.

Es decir, la consecuencia de interpretar el citado Real Decreto en el sentido de que hay que instalar en la parte de continua un interruptor diferencial para la seguridad de las personas conduce a diseños ineficaces.

Instalación fotovoltaica “de generador flotante” conectada a la red

La figura 4 muestra esquemáticamente una forma frecuente de instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica de corriente alterna. La parte principal de continua son las placas

da conjunto de varias placas conectadas en serie se llama, precisamente, una serie. Cada serie, por tanto, equivale a un generador cuya tensión es la suma de las tensiones de las placas que la forman. De los dos terminales de cada serie, del terminal positivo y del terminal negativo, parten dos conductores activos [2], el conductor positivo y el conductor negativo, que están aislados entre sí y aislados de tierra.

Esta disposición suele denominarse “de generador flotante”. Coincide con el sistema que el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de-

formador. En el secundario de ese transformador, que está conectado a la red pública, se induce así una fuerza electromotriz, que entrega la energía de las placas a la red.

Con esta disposición, si uno cualquiera de los hilos que parten de las placas, positivo o negativo, se pone en contacto eléctrico con una parte metálica, que está puesta a tierra, el único efecto es que los potenciales de ese hilo, de la parte metálica y de tierra son los mismos, y no hay ninguna corriente de derivación a tierra. Si ahora una persona toca la parte metálica, no hay tampoco ninguna

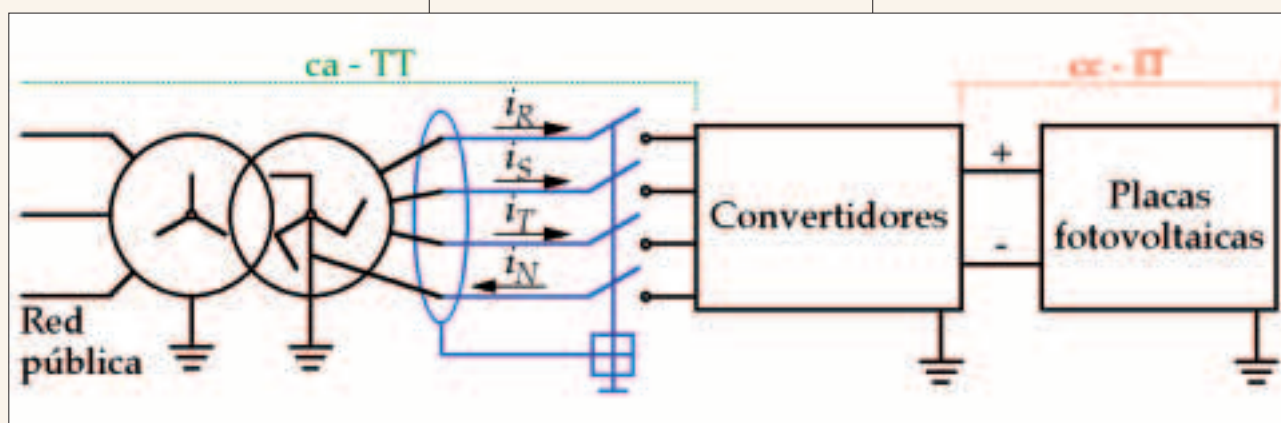


Fig. 4.- Esquema simplificado de instalación fotovoltaica conectada a la red. Ningún hilo activo de la parte de continua está conectado a tierra. Esa disposición se conoce como “de generador flotante”.

fotovoltaicas, que suelen ir enmarcadas en bastidores metálicos, apoyados a su vez en soportes metálicos. Estas partes metálicas se conectan todas entre sí para que sean equipotenciales y, además, se conectan a tierra como medida de seguridad para la instalación frente a descargas atmosféricas. De día, cuando hay luz solar, cada placa fotovoltaica es un generador de corriente continua. Ca-

nomina esquema IT [7], en el que no hay conductores activos puestos a tierra, pero sí lo están, mediante una conexión específica, las masas y partes metálicas accesibles de todos los aparatos. Los extremos finales de los dos conductores activos van conectados al convertidor (Fig. 4), que hace circular la intensidad de las placas, en sentidos alternativos a la frecuencia de la red, por el primario de un trans-

corriente de derivación por su cuerpo, pues la diferencia de potencial a que está sometida es cero, que es la diferencia de potencial entre la parte metálica y tierra. Esto es así, incluso, si la puesta a tierra fuera defectuosa, en cuyo caso la conexión a tierra se realiza por el cuerpo de la persona. Es decir, si una persona toca una parte metálica que estuviera aislada de tierra y que se ha puesto en contacto

Los extremos finales de los dos conductores activos van conectados al convertidor, que hace circular la intensidad de las placas, en sentidos alternativos a la frecuencia de la red

con un hilo activo, no circula ninguna corriente por la persona, salvo, a lo sumo, la producida inicialmente por las cargas estáticas. Por tanto, con los dos hilos activos aislados entre sí y de tierra, un primer defecto a tierra no es peligroso para las personas.

Si ahora se produce un nuevo contacto del otro conductor con la parte metálica, tampoco hay una corriente de fuga a tierra, sino un cortocircuito, pues, como se ha dicho, toda la parte metálica es una superficie equipotencial. Si ahora una persona toca la parte metálica, tampoco se produce ninguna corriente de fuga a tierra por ella, pues la diferencia de potencial entre la parte metálica y tierra sigue siendo cero. El cortocircuito tampoco produce una avería en las placas, pues la intensidad de cortocircuito de las placas fotovoltaicas es solo escasamente superior a su intensidad nominal. El efecto del cortocircuito es anular la tensión en la en-

el otro hilo activo. Esta situación equivale al contacto directo de la persona con los dos hilos activos, contacto cuyas consecuencias no puede evitar ningún interruptor diferencial, tampoco en las instalaciones de alterna, si la persona está aislada de tierra.

Seguridad de la parte de continua

Toda protección frente a contactos indirectos debe conseguir que cualquier contacto accidental de un conductor activo con una parte metálica, no cause una derivación a tierra a través de una persona que esté tocando los bastidores, soportes o carcassas de placas y equipos. Ya se ha expuesto cómo el sistema IT asegura totalmente dicha protección en la parte de continua de las plantas fotovoltaicas, pues no hay riesgo de contactos indirectos, y ni siquiera hay riesgo de derivación a tierra a través

sentido de la ITC-BT-43, es, en este caso, el más conveniente.

Ambas medidas, la configuración IT o de generador flotante, y doble aislamiento, a nuestro juicio proporcionan a la parte de continua de las instalaciones fotovoltaicas un nivel de seguridad adecuado.

Interruptor diferencial en la parte de alterna

Como se ha dicho, en las instalaciones ordinarias de corriente alterna, tal como la de una vivienda, el interruptor diferencial separa la red pública de la instalación particular. Esto sugiere otra interpretación del citado punto 2 del Real Decreto 1663/2000. Pudiera ser que su redactor considere a cada instalación fotovoltaica como una instalación más de usuario, como una instalación particular, que debe ser separada de la red pública por medio de un interruptor diferen-

para mejorar la protección frente a contactos directos, es recomendable un buen aislamiento de las partes metálicas activas

trada de la parte de continua del convertidor, por lo que este se desconectará automáticamente de la línea de continua que le llega, ya que los convertidores van dotados de un interruptor automático que se abre cuando la tensión de continua disminuye hasta cierto valor que no hace posible continuar con la entrega de energía a la red pública. Esta desconexión es el mejor aviso de avería, pues cesa el suministro de energía a la red.

Solo puede haber peligro para la persona si el segundo defecto a tierra se produce a través de ella. Pero esto solo ocurre si ya se ha producido un primer defecto a tierra de uno de los hilos de una serie de placas fotovoltaicas, si ese defecto no ha sido reparado, y si la persona toca directamente

de la persona, cuando esta toca directamente un solo conductor activo. Eso significa que el nivel de seguridad alcanzado con esta disposición resulta comparable al que se consigue en las instalaciones ordinarias de corriente alterna con los interruptores diferenciales, aunque con la ventaja para las instalaciones fotovoltaicas de generador flotante, de que esa seguridad no depende del correcto funcionamiento de un interruptor diferencial ni de ningún otro aparato, sino que es una característica de seguridad inherente a la propia instalación.

Por otra parte, para mejorar la protección frente a contactos directos, es recomendable un buen aislamiento de las partes metálicas activas. Un aislamiento Clase II, en el

cial cuando haya una corriente de defecto a tierra en esa instalación.

Si fuera de esta manera, no ha tenido en cuenta una diferencia esencial de las instalaciones fotovoltaicas con el resto de instalaciones habituales de usuario, que es que, en este caso, la instalación a proteger es también fuente de energía ella misma. Y por eso, su desconexión de la red pública no anula la tensión entre sus terminales, que solo cesa durante la noche, cuando no hay luz solar. Es decir, separar una instalación fotovoltaica de la red pública por medio de un interruptor omnipolar, no anula las tensiones en toda la instalación fotovoltaica.

Además, como se verá más adelante, un interruptor diferencial en la

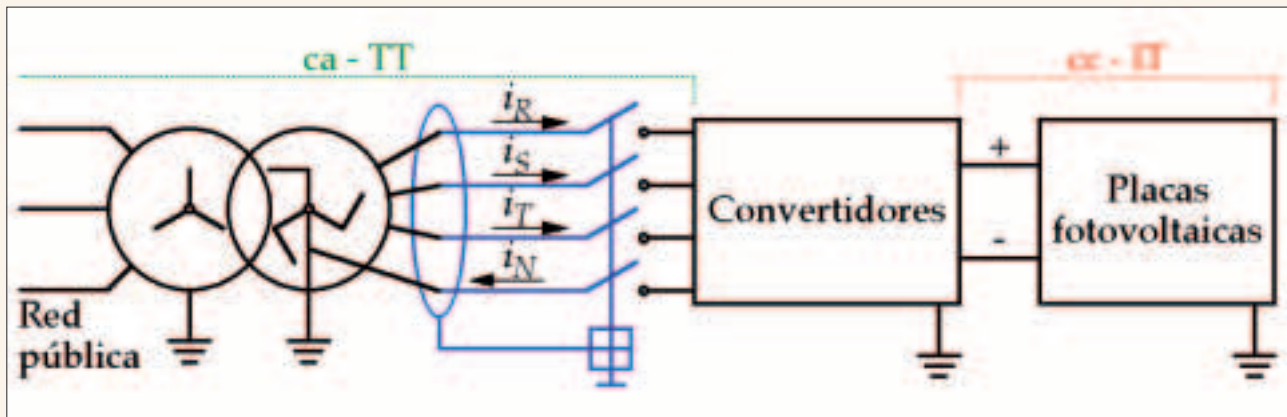


Fig. 4.- Esquema simplificado de instalación fotovoltaica conectada a la red. Ningún hilo activo de la parte de continua está conectado a tierra. Esa disposición se conoce como "de generador flotante".

parte de alterna no detecta ninguna derivación a tierra que se produzca en la parte de continua, ni ejerce, por tanto, ninguna protección en esa parte, protección que, como se ha visto, tampoco es necesaria si la instalación es de generador flotante.

Dónde poner el interruptor diferencial

La inclusión de un interruptor diferencial en la parte de alterna es solución que se ha ido extendiendo entre los proyectistas (Fig. 4). Con independencia de la protección que proporcione, de la que nos ocuparemos enseguida, ofrece, al menos, dos ventajas prácticas. La primera es que se trata del interruptor diferencial de uso habitual, por lo que, además de estar ho-

mologado, no hay dificultad para su adquisición en el mercado; y la segunda, que suele ser suficiente para satisfacer los requerimientos formales de los órganos de la Administración, incluida la exigencia del citado punto 2.

Su funcionamiento es el de siempre: el interruptor abrirá sus contactos si el valor eficaz de la intensidad residual alcanza el valor que corresponda a su sensibilidad. Para que así sea, conviene reforzar la puesta a tierra del neutro del transformador de la red pública. Nuestra recomendación es que solo ese neutro se ponga a tierra, y que permanezca aislado el neutro del transformador de la parte de alterna del convertidor. Así toda la intensidad de derivación que se produzca en la parte de alterna del usuario se cierra hacia el transformador

de la red pública y esa intensidad coincide entonces con la de defecto del interruptor diferencial. Porque si el neutro de la salida del convertidor está también a tierra, la intensidad de derivación puede circular hacia los dos neutros, el del convertidor y el del transformador de la red pública. Como el diferencial solo detecta la intensidad de defecto que circula hacia el neutro del transformador de la red pública, puede no abrir sus contactos aunque la intensidad de derivación supere su sensibilidad.

En cuanto el interruptor diferencial abre sus contactos, el convertidor se desconecta también de la parte de continua, o sea de la fuente fotovoltaica, lo que asegura que toda la parte de la línea de alterna comprendida entre el convertidor y el di-

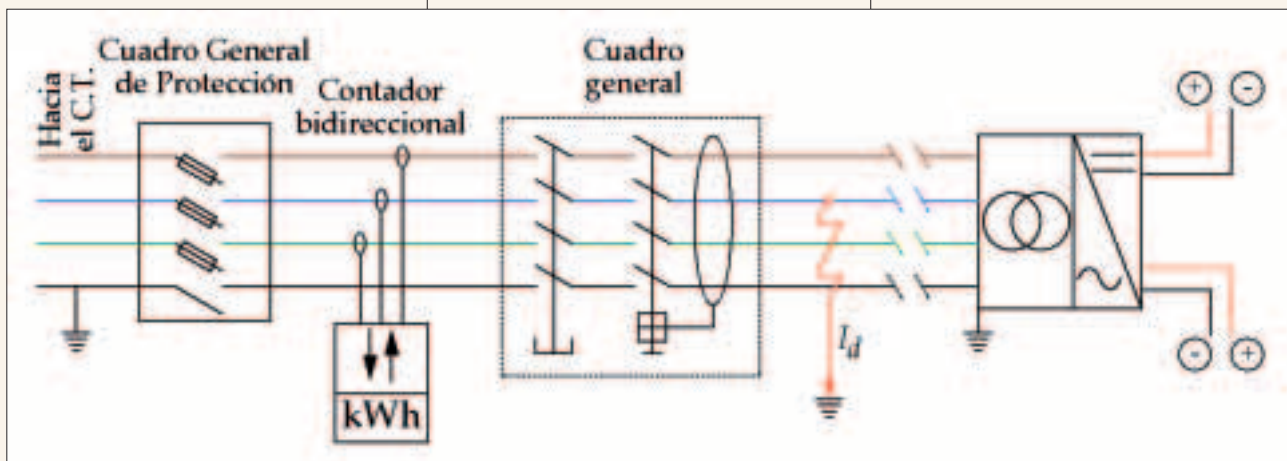


Fig. 5.- Si solo se conecta a tierra el neutro de la parte de la red pública, la red alterna del usuario queda protegida frente a contactos indirectos por el diferencial y el convertidor.

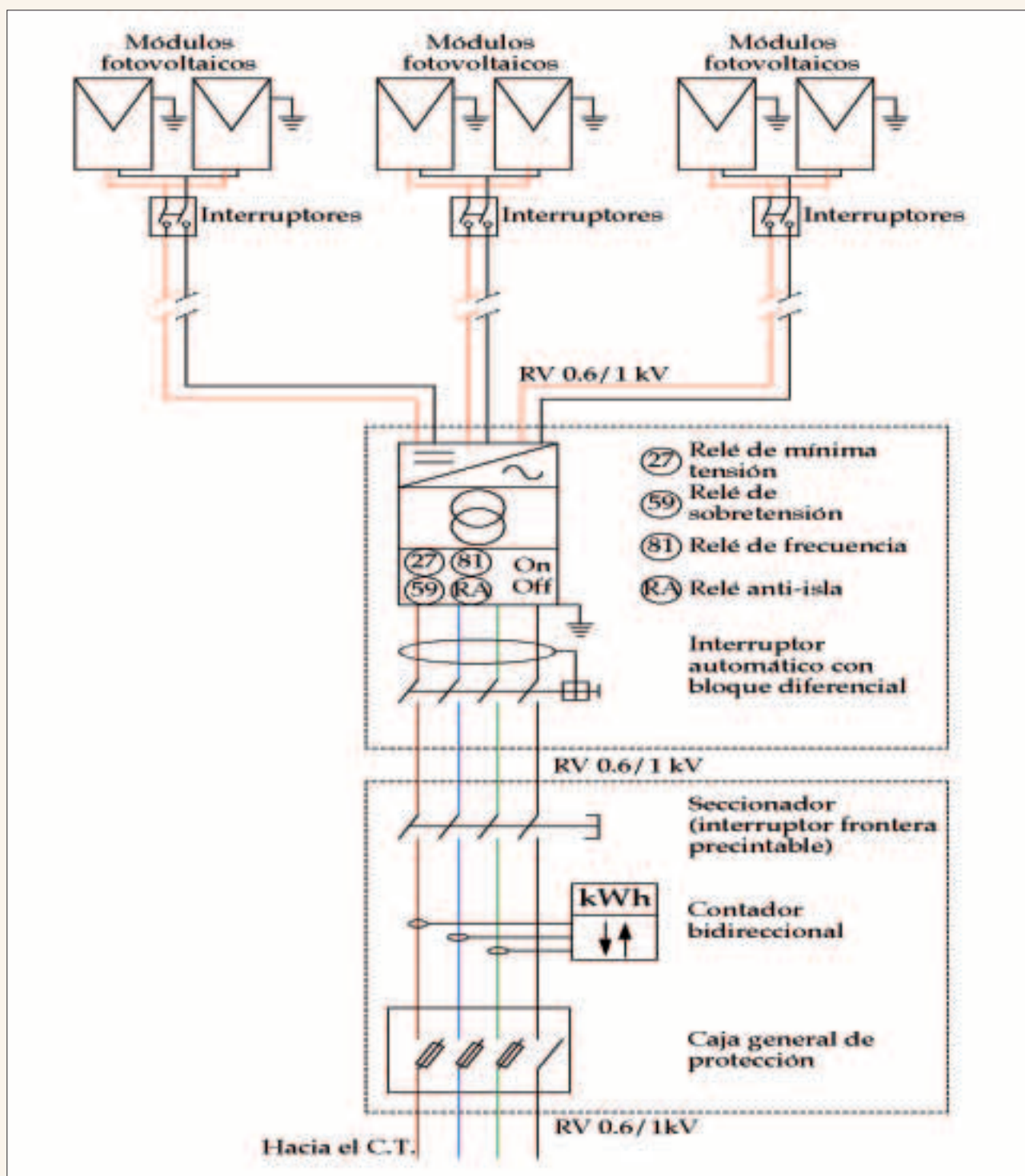


Fig. 6.- Planta con un único gran convertidor. La casi totalidad del cableado es el de las líneas de corriente continua, de 600 V o más, desde las series de placas al convertidor.

ferencial quede separada de las dos fuentes de energía, de la fotovoltaica y de la red pública, que es lo que asegura la protección de las personas en ese tramo. Por esta razón es aconsejable situar el diferencial lo más pró-

ximo posible a la red pública y no junto al convertidor. De esta manera se protege frente a contactos indirectos toda la línea de alterna (Fig. 5), aunque no influya nada en la seguridad de la parte de continua.

Dos diseños de plantas fotovoltaicas

En las figuras 6 y 7 se muestran dos diseños básicos de plantas fotovoltaicas de baja tensión y generador flotante conectadas a la red. El prime-

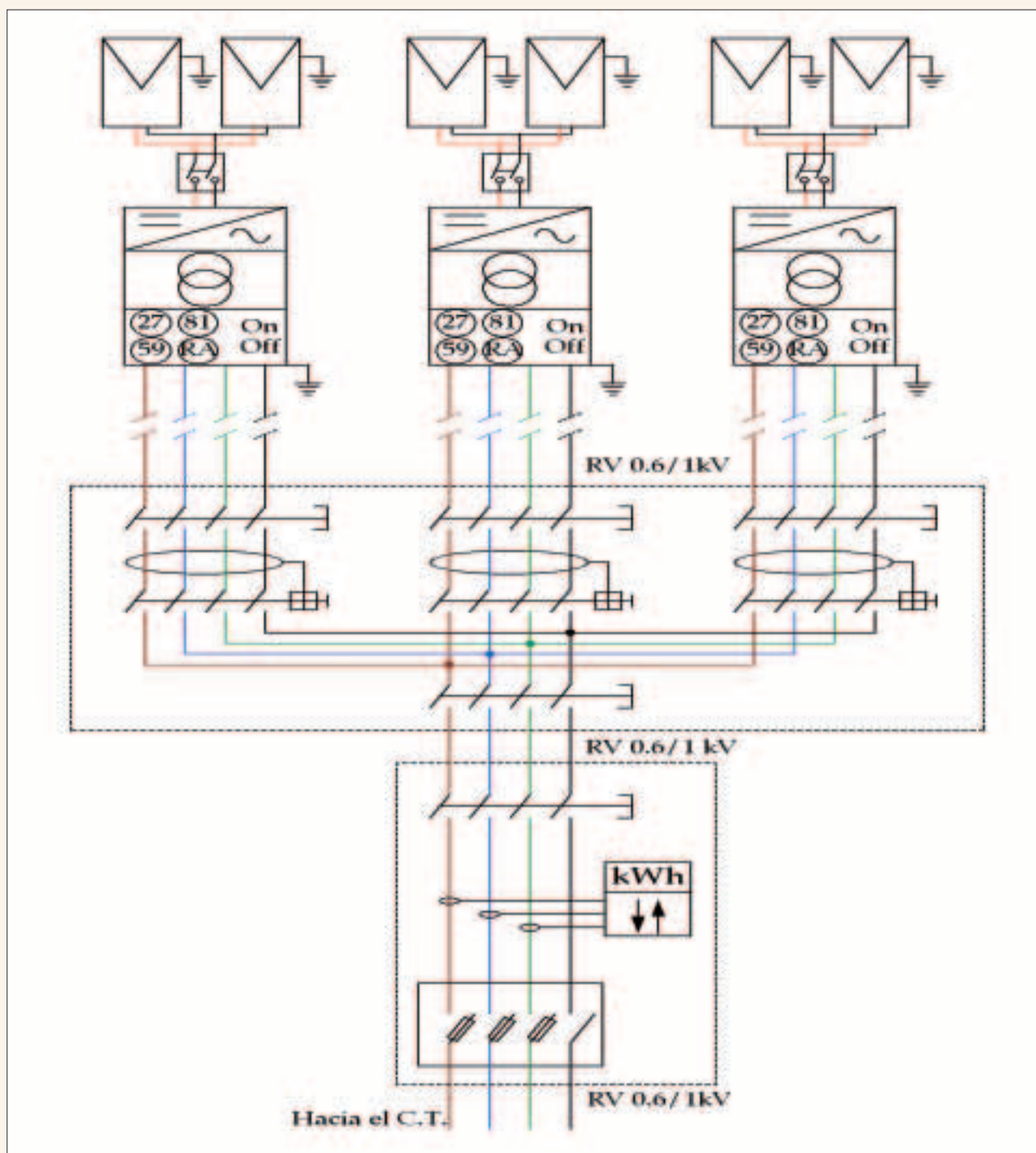


Fig. 7.- Planta con varios pequeños convertidores. La mayor parte del cableado es el de las líneas de corriente alterna desde cada convertidor a la red general.

ro utiliza un único convertidor. El segundo utiliza varios pequeños convertidores cuyas salidas se reúnen para formar líneas trifásicas que se conectan a la red pública. Entre estas dos soluciones caben variantes que participan de uno u otro sistema en distinto grado.

Una primera ventaja del diseño con un solo convertidor (Fig. 6) es reducir costes, pues se concentran en un solo aparato todos los componentes electrónicos, y el conjunto resulta más fácil de mantener. El rendimiento del conjunto de la instalación es ligeramente mayor, pues, si bien

los rendimientos energéticos de los convertidores no son muy diferentes en ambos diseños, la potencia que se pierde en la resistencia de los hilos es menor en el diseño con un solo convertidor. En este diseño, la mayor parte del cableado es el de las líneas de corriente continua, que van desde

cada serie de placas al convertidor único (Fig. 6). Debido a que la tensión de estas líneas es tan elevada como lo permita el convertidor, más de 600 V por lo general, las pérdidas en sus conductores, inversamente proporcionales al cuadrado de esa tensión, son menores, como se verá, que las del diseño con varios convertidores.

Utilizar varios pequeños convertidores tiene la ventaja de que una avería en uno no elimina la producción de toda la planta. Pero las líneas de continua son muy cortas ahora, pues cada convertidor se suele situar cerca de su serie de placas (Fig. 7). De la salida de cada convertidor parten líneas de alterna de 230 ó 400 V hacia la red general. Estas líneas constituyen en este diseño la mayor parte del cableado, y en ellas, las pérdidas son mayores que en las de continua.

Por estas razones suele preferirse el diseño de gran convertidor único. El inconveniente de la interrupción por avería no resulta económicamente importante para el propietario de la instalación cuando esa producción de energía esté cubierta por compañías de seguros, que indemnizarían la pérdida de ingresos.

En las plantas de un solo convertidor, la parte de alterna se reduce a la mínima expresión: inmediatamente aguas arriba del convertidor va el cuadro de protecciones de la planta y, a su salida, el contador con su caja general de protección y una línea trifásica de conexión a la red pública.

La protección para el caso de cortocircuito en esa línea trifásica consiste en un separador para cada fuente de energía: los fusibles de la caja general de protección separarán la instalación fotovoltaica y la red pública, y las protecciones de cabecera de la instalación fotovoltaica desconectarán de la línea el convertidor. Las protecciones fusibles o magnetotérmicas que detectan sobreintensidad en caso de cortocircuito actuarán sin ningún problema, pues la potencia de cortocircuito de la red pública es incomparablemente mayor que la potencia nominal de la instalación, con lo que los altos valores de las intensi-

dades de cortocircuito dispararán las protecciones.

Como ya se ha dicho, si se desea dotar también de protección diferencial la línea de conexión, el interruptor diferencial debe situarse junto al contador de energía, y no junto al convertidor.

Si el diseño elegido es el de varios convertidores distribuidos por la planta (Fig. 7), entonces la red de cableado será mayoritariamente de corriente alterna, y estará conectada a la red pública de distribución a través del cuadro de protección de la planta, del que parte la línea hasta el contador. Aquí son de aplicación las mismas soluciones que antes, en particular la de colocar el interruptor diferencial lo más próximo posible al contador, y no poner a tierra el neutro de la parte de alterna del convertidor y sí el del transformador de la red general. Así queda protegida toda la red de alterna que, en este caso, es una parte considerable de la instalación.

CONCLUSIONES

Consecuencia de lo dicho es que la configuración de generador flotante de una planta fotovoltaica, junto con aislamiento de nivel II, proporcionan seguridad suficiente a las personas en caso de derivación de algún elemento de la parte de continua de la instalación.

Si se incluye un interruptor diferencial en la parte de alterna, es recomendable situarlo en la parte de la línea de alterna más próxima a la conexión con la red pública. Pero, se insiste, este interruptor no detecta ninguna derivación en la parte de continua, sino que, en combinación con la desconexión que realiza el convertidor, sí separa la línea de alterna de sus dos fuentes de energía y, por tanto, la protege en caso de derivación a tierra. Esta es su única protección. Para asegurar un buen funcionamiento de este interruptor diferencial, no se debe poner a tierra el neutro de la parte de alterna del convertidor, y sí el neutro de la parte de baja del transformador de la red pública.

La desconexión eléctrica entre la parte fotovoltaica y la red pública no anula la tensión en la parte de continua, que permanece mientras haya luz solar. Como complemento de esta afirmación conviene decir que, cortocircuitando los terminales de las series de placas, se puede anular la tensión en todos los terminales de continua. Esta medida no daña la instalación, y puede ser recomendable para la seguridad, si hay que realizar operaciones de mantenimiento o de reparación durante el día.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre. BOE núm. 235 de 30 de septiembre de 2000.

[2] ITC-BT-01 del Reglamento electrotécnico para baja tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. BOE núm. 224 de 18 de septiembre de 2002.

[3] ITC-BT-25 del Reglamento electrotécnico para baja tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. BOE núm. 224 de 18 de septiembre de 2002.

[4] REDONDO QUINTELA, Félix y REDONDO MELCHOR, Roberto C. *Definiciones y conceptos* [en línea]. Universidad de Salamanca. Disponible de World Wide Web: [http://www.usal.es/~electricidad/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b="interruptor+diferencial"](http://www.usal.es/~electricidad/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b=)

[5] REDONDO QUINTELA, Félix y REDONDO MELCHOR, Roberto C. *Redes Eléctricas de Kirchhoff*. 2ª ed. Béjar (Salamanca): Revide, S. L., 2005. ISBN: 84-921624-9-X. Pág. 690 y 695.

[6] E. Lorenzo. *Retratos de la conexión fotovoltaica a la red-I* [en línea]. Disponible de World Wide Web: <http://www.fotovoltaica.com/retrato1.pdf>

[7] ITC-BT-24 del Reglamento electrotécnico para baja tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. BOE núm. 224 de 18 de septiembre de 2002. ■