Comisión Federal de Electricidad

INTERCONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW

ESPECIFICACIÓN
CFE G0100-04

AGOSTO 2008

MÉXICO

P R E F A C I O

Esta **especificación** ha sido elaborada de acuerdo con las Bases Generales para la Normalización en CFE. La propuesta inicial fue preparada por la **Subdirección de Distribución.**

Participaron en la elaboración de la presente **especificación** las áreas siguientes:

GERENCIA DE ABASTECIMIENTOS

GERENCIA DE LAPEM

SUBDIRECCIÓN DE DISTRIBUCIÓN

El presente documento normalizado entra en vigor a partir de la fecha abajo indicada y será actualizado y revisado tomando como base las observaciones que se deriven de la aplicación del mismo. Dichas observaciones deben enviarse a la Gerencia de **LAPEM**, cuyo Departamento de Normalización y Metrología coordinará la revisión.

AUTORIZO:

ING. ROBERTO VIDAL LEÓN
GERENTE DEL LAPEM

NOTA: Entra en vigor a partir de: 081008

C O N T E N I D O

1 OBJETIVO 1

2 CAMPO DE APLICACIÓN 1

3 NORMAS QUE APLICAN 1

4 DEFINICIONES 1

4.1 Arreglo Fotovoltaico 1

4.2 Caja de Conexión 1

4.3 Celda Fotovoltaica 1

4.4 Conductores de Rama 1

4.5 Generador Fotovoltaico (GFV) 1

4.6 Generadores Dispersos 2

4.7 Inversor 2

4.8 Interfaz con la Red 2

4.9 Operación en Modo Isla 2

4.10 Módulo Fotovoltaico (MFV) 2

4.11 Punto de Acoplamiento Común (PAC) 3

4.12 Rama Fotovoltaica 3

4.13 Sección de Corriente Alterna 3

4.14 Sección de Corriente Directa 3

4.15 Sistema Fotovoltaico (SFV) 3

4.16 Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red (SFVI) 3

4.17 Sistema Fotovoltaico Disperso 4

4.18 Condiciones Estándar de Prueba (CEP) 4

4.19 Subsistema de Acondicionamiento de Potencia 4

4.20 Subsistema de Control y Monitoreo 5

4.21 Watt Pico (Wp) 5

5 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS 5

5.1 Símbolos 5

5.2 Abreviaturas 5

6 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES GENERALES 6

6.1 Configuración Eléctrica 7
6.2 Punto de Interconexión 7
6.3 Tensión de Interconexión 8
6.4 Número de Fases 8
6.5 Medición de la Energía 8
6.6 Transformador de Interconexión 8
6.7 Límites de Operación de la Red 9
6.8 Límites para los Disturbios en la Red, Causados por SFVI 9
6.9 Equipo de Protección en c.a. Propiedad del Usurario 11
6.10 Equipo de Protección del SFV 14
7 CONDICIONES DE OPERACIÓN 21
7.1 Instalación Eléctrica en General 21
7.2 Espacio Disponible 21
7.3 Orientación del Arreglo 22
7.4 Mantenimiento 22
8 CONDICIONES DE DESARROLLO SUSTENTABLE 25
9 CONDICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL 25
9.1 Aspectos de Instalación 25
9.2 Aspectos de Operación y Mantenimiento para la CFE 26
9.3 Tensión de Salida del GFV 27
9.4 Condiciones de Puesta a Tierra 27
9.5 Cableado 29
9.6 Capacidad de Conductores 31
10 CONTROL DE CALIDAD 32
10.1 Verificación Previa a la Interconexión 32
10.2 Verificación de Inicio de Operación 32
11 MARCADO 33
11.1 Datos del Arreglo 33
11.2 Identificación de Todas las Fuentes de Energía 33
11.3 Letreros para Interruptores y Dispositivos de Sobrecorriente 33

12 **EMPAQUE, EMBALAJE, EMBARQUE, TRANSPORTACIÓN, DESCARGA, RECEPCIÓN, ALMACENAJE Y MANEJO** ____ **33**

13 **BIBLIOGRAFÍA** ____ **33**

APÉNDICE A (Normativo) **VERIFICACIÓN PREVIA PARA INTERCONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW** ____ **35**

APÉNDICE B (Normativo) **VERIFICACIÓN DE INICIO DE OPERACIÓN A LA INTERCONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW** ____ **39**

APÉNDICE C (Informativo) **SÍMBOLOS UTILIZADOS EN LOS DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE SFV** ____ **40**

APÉNDICE D (Informativo) **DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS SFVI: ATERRIZADO Y FLOTANTE** ____ **41**

APÉNDICE E (Informativo) **INFORMACIÓN TÉCNICA** ____ **43**

TABLA 1 **Límites de distorsión armónica de tensión en el PAC establecidos para el servicio de la CFE** ____ **9**

TABLA 2 **Distorsión armónica máxima permitida en corriente para tensiones hasta 69 kV** ____ **10**

TABLA 3 **Límites de variación de tensión para el servicio de CFE** ____ **10**

FIGURA 1 **Módulo, rama y arreglo fotovoltaico** ____ **3**

FIGURA 2 **Diagrama de bloques de un SFVI** ____ **4**

FIGURA 3 **Localización de los interruptores de desconexión con la red, responsablidad del usuario** ____ **12**

FIGURA 4 **Esquema de protección contra fallas a tierra para generadores aterrizados responsabilidad del usuario** ____ **15**

FIGURA 5 **Monitor de aislamiento para detectar fallas a tierra en GFV flotantes responsabilidad del usuario** ____ **16**

FIGURA 6 **Dispositivos de sobrecorriente en ramas y subarreglos de un GFV: (a) Aterrizado, (b) Flotante, ambos responsabilidad del usuario** ____ **18**

FIGURA 7 **Medios de desconexión para los equipos de un SFV** ____ **20**

FIGURA 8 **Puesta a tierra de un SFV residencial. Interconectado con la red (sistema y equipos)** ____ **28**

1 OBJETIVO

Definir los requerimientos para el diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica (SFVI) que garanticen la seguridad del personal de la CFE y de los usuarios de la misma, la calidad de la energía en la red, así como la integridad física y operacional de la red eléctrica y de los propios SFVI.

2 CAMPO DE APLICACIÓN

Aplica para la interconexión a la red eléctrica de baja tensión de SFV con capacidad hasta 30 kWp, los cuales pueden estar instalados en viviendas individuales, inmuebles comerciales, escuelas y edificios públicos. La especificación considera únicamente SFVI que utilizan inversores estáticos de estado sólido, para la conversión de corriente directa (c.d.) a corriente alterna (c.a.).

3 NORMAS QUE APLICAN

NOM-001-SEDE-2005	Instalaciones Eléctricas (utilización).
NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida.
IEC 61173-1992	Overvoltage Protection for Photovoltaic (PV) Power Generating Systems – Guide.

NOTA: **En caso de que los documentos anteriores sean revisados o modificados, debe tomarse en cuenta la edición en vigor en la fecha de la convocatoria de la licitación, salvo que la CFE indique otra cosa.**

4 DEFINICIONES

4.1 Arreglo Fotovoltaico

Circuito conformado por varias ramas de módulos fotovoltaicos conectadas en paralelo.

4.2 Caja de Conexión

Caja en la que se conectan eléctricamente ramas o arreglos FV entre sí.

4.3 Celda Fotovoltaica

El elemento semiconductor más pequeño capaz de convertir la luz solar en energía eléctrica vía corriente directa.

4.4 Conductores de Rama

Conductores que conectan los módulos de una rama entre sí o que conectan una rama o arreglo fotovoltaico a una caja de conexión o a las terminales de corriente directa del inversor.

4.5 Generador Fotovoltaico (GFV)

Unidad generadora capaz de convertir la radiación solar incidente directamente en energía eléctrica en forma de corriente directa. Está constituido por la integración eléctrica y mecánica de los siguientes componentes:

a) Módulos fotovoltaicos.

b) Subarreglos (grupos de módulos fotovoltaicos).

c) Arreglo fotovoltaico (grupo de subarreglos).

d) Cajas de conexión.

e) Cables y conexiones eléctricas.

f) Dispositivos de protección.

g) Sistema de tierras.

h) Estructuras de montaje.

4.6 Generadores Dispersos

Son sistemas que no forman parte del esquema convencional de generación centralizada, sino que pertenecen al esquema de generación distribuida. Normalmente son generadores de baja capacidad (1 kWp - 30 kWp) instalados en inmuebles residenciales, comerciales o públicos. Su conexión eléctrica se realiza a un alimentador de baja tensión.

4.7 Inversor

Dispositivo electrónico de potencia cuya función principal es convertir la señal de c.d. del GFV en una señal de c.a. sincronizada con la red. Constituye el elemento central de la interfaz entre el GFV y la red eléctrica. La salida de c.a. puede ser monofásica o trifásica. Adicionalmente realiza otras funciones de protección y control para el funcionamiento eficiente y seguro del SFVI. Este equipo también es referenciado como subsistema de acondicionamiento de potencia.

4.8 Interfaz con la Red

Interconecta la salida del inversor con las cargas locales de c.a. del inmueble y con el sistema eléctrico de distribución. Permite al SFV operar en paralelo con la red para que la energía pueda fluir en uno u otro sentido entre la red y la interfaz. Puede tener las siguientes funciones:

a) Distribución de la c.a. que fluye entre el sistema de acondicionamiento de potencia, las cargas locales y las líneas de distribución de la red.

b) Provisión de medios de desconexión para seguridad y mantenimiento.

c) Medición de flujos de energía entre el sistema, las cargas locales y la red.

d) Protecciones para el sistema de c.a. que no sean proporcionadas por el inversor.

e) Conversión de tensión c.a./c.a. si no es proporcionada por el inversor.

4.9 Operación en Modo Isla

Operación continua de una instalación de generación FV con cargas locales después que el suministro de energía de la red eléctrica ha sido interrumpido. Ésta es una condición indeseable que potencialmente puede ocurrir en el instante que coincida la demanda de energía de la carga con la generación FV en la isla.

4.10 Módulo Fotovoltaico (MFV)

Grupo de celdas fotovoltaicas interconectadas eléctricamente entre sí, mecánicamente agrupadas y encapsuladas en una unidad para protegerlas del medio ambiente. Un MFV es la unidad de generación más pequeña lista para utilizarse (figura 1).

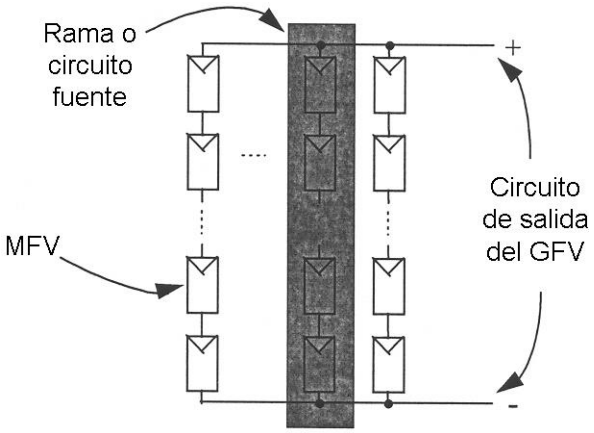


FIGURA 1 - Módulo, rama y arreglo fotovoltaico

4.11 Punto de Acoplamiento Común (PAC)

Punto en el que se conectan eléctricamente dos o más usuarios.

4.12 Rama Fotovoltaica

Circuito conformado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie (véase figura 1).

4.13 Sección de Corriente Alterna

Segmento de la instalación fotovoltaica que va de las terminales de salida de corriente alterna del inversor hasta el punto de conexión con la red eléctrica.

4.14 Sección de Corriente Directa

Conjunto de equipos y elementos del sistema eléctrico que producen o manejan potencia eléctrica en corriente directa y que van desde las celdas FV hasta las terminales de entrada de corriente directa del inversor.

4.15 Sistema Fotovoltaico (SFV)

Sistema de generación que convierte la luz solar directamente en energía eléctrica, con las características apropiadas para ser utilizada por la carga destinada.

4.16 Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red (SFVI)

Sistema fotovoltaico de generación eléctrica en el que la energía en corriente directa del GFV es convertida en energía en corriente alterna (c.a.), a la tensión y frecuencia de la red eléctrica y sincronizada con ella. Al conectarse en paralelo con la red, el SFV contribuye al suministro de la energía demandada a la red. Si existe una carga local en el inmueble, ésta debe ser alimentada por cualquiera de las dos fuentes o por ambas simultáneamente, dependiendo de los valores instantáneos de la carga y de la potencia de salida del SFV. Cualquier superávit de potencia del SFV es inyectado a la red eléctrica y cualquier déficit es demandado a ésta. La figura 2 muestra el diagrama de bloques de un SFVI; las flechas indican el flujo de la energía.

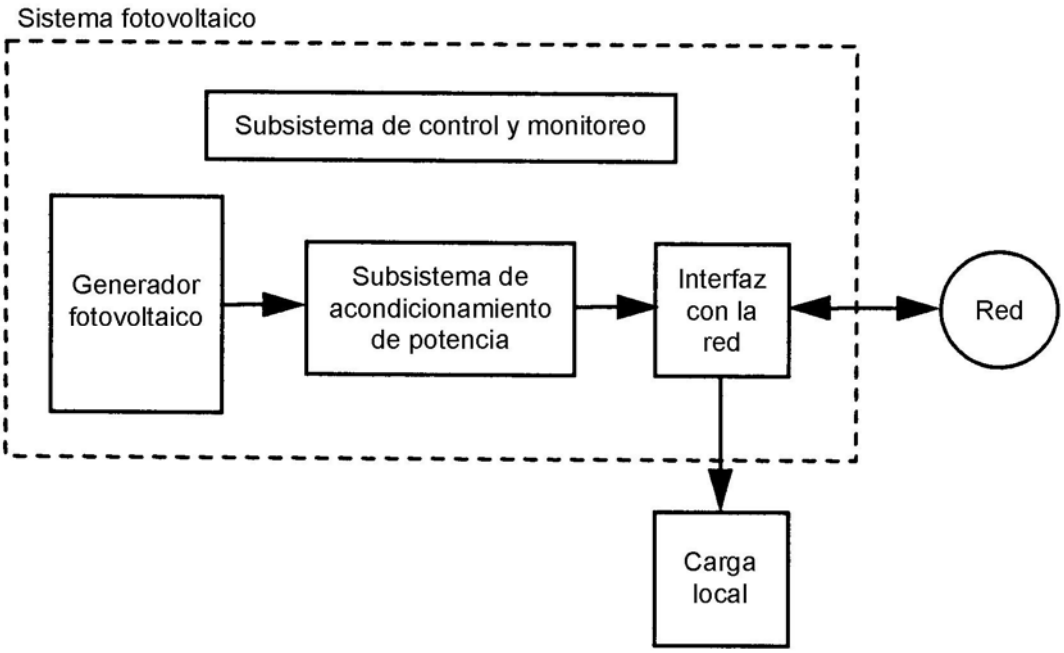


FIGURA 2 - Diagrama de bloques de un SFVI

4.17 Sistema Fotovoltaico Disperso

Es un SFV interconectado con la red eléctrica de distribución y que no forma parte del esquema de generación centralizada del sistema de potencia.

4.18 Condiciones Estándar de Prueba (CEP)

Son las condiciones para la medición de la potencia nominal de salida de las celdas o de los módulos FV:

Irradiancia 1 000 W/m², espectro solar AM 1,5 y una temperatura de la celda o el módulo de 25 °C.

4.19 Subsistema de Acondicionamiento de Potencia

Es el subsistema que convierte la energía en c.d. proveniente del GFV, en energía en c.a. compatible con los requerimientos de la red. Esta conversión se realiza mediante un inversor y el subsistema puede estar constituido por uno o más inversores. Además de la conversión de energía, este subsistema puede incluir funciones como:

a) Protecciones al sistema de c.d. (sobretensión, falla a tierra, entre otros).

b) Protecciones al sistema de c.a. (cortocircuito, operación en modo isla, entre otros).

c) Protecciones al inversor (protección térmica, sobretensión, entre otros).

d) Filtros para armónicos y EMI.

e) Compensación de FP.

f) Aislamiento eléctrico entre los sistemas de c.d. y c.a. (aislamiento galvánico, entre otros. Uso de transformador).

g) Conversión de tensión c.a./c.a. y/o c.d./c.d.

4.20 Subsistema de Control y Monitoreo

Lo conforman los circuitos lógicos y de control que supervisan la operación general del SFVI, y controlan la interacción entre sus subsistemas. Este subsistema tiene el mayor orden jerárquico de control, debe asegurar la correcta operación del SFVI en modo automático y manual. Comúnmente estas funciones de control y monitoreo se encuentran incorporadas en el inversor y comprenden:

a) Arranque y paro automático.

b) Funciones de protección.

4.21 Watt Pico (Wp)

Unidad de potencia pico, bajo condiciones estándar de prueba CEP.

5 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

5.1 Símbolos

Los símbolos utilizados en esta especificación se encuentran descritos en el Apéndice C.

5.2 Abreviaturas

5.2.1 c.a.

Corriente alterna.

5.2.2 c.d.

Corriente directa.

5.2.3 CFE

Comisión Federal de Electricidad.

5.2.4 CRE

Comisión Reguladora de Energía.

5.2.5 EMI

Interferencia eletromagnética.

5.2.6 FV

Fotovoltaico(s) o fotovoltaica(s).

5.2.7 FP

Factor de potencia.

5.2.8 kWp

Kilowatt pico.

5.2.9 SFV

Sistema fotovoltaico.

5.2.10 SFVI

Sistema fotovoltaico interconectado a la red.

5.2.11 PAC

Punto de acoplamiento común.

5.2.12 CEP

Condiciones estándar de prueba.

5.2.13 UV

Ultravioleta.

5.2.14 S

Satisfactorio.

5.2.15 NS

No satisfactorio.

6 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES GENERALES

Las unidades de medida utilizadas en la presente especificación deben cumplir con lo establecido en la norma NOM-008-SCFI.

El diseño, instalación y operación de un SFVI debe cumplir con la reglamentación de la CFE respecto a generadores FV dispersos.

La interconexión de los sistemas de generación FV dispersos con la red eléctrica debe ser en todo momento segura para los equipos y las personas en ambos lados del punto de conexión, de conformidad a lo indicado en el capítulo 9 de esta especificación. Así mismo, el SFVI no debe causar perturbaciones indeseables en la red de distribución. A continuación se describen las características técnicas que deben cubrir los SFVI de hasta 30 kWp para su conexión a la red de distribución de la CFE.

6.1 Configuración Eléctrica

Las dos configuraciones típicas factibles para la instalación de SFV de hasta 30 kWp interconectados con la red eléctrica de distribución; enfocadas básicamente al GFV son:

a) GFV aterrizado.

b) GFV flotante.

Ambos modos de operación involucran ventajas y desventajas en su aplicación. Sin embargo, cuando los sistemas están diseñados adecuadamente pueden operar de manera segura y eficiente con cualquiera de las dos configuraciones.

En esta especificación se establecen las características generales de cada configuración eléctrica. Los diagramas de las figuras D1 y D2 del Apéndice D muestran SFVI en los que la salida de c.d. del GFV es de dos hilos; sin embargo, en ambos casos es posible una configuración con derivación central, es decir con salida de c.d. a tres hilos (positivo, negativo y neutro).

6.1.1 GFV aterrizado

La figura D1 muestra el diagrama eléctrico de un SFVI donde el circuito de salida del GFV se encuentra conectado a tierra.

6.1.2 GFV flotante

En la figura D2 se muestra el diagrama eléctrico de un SFVI en el que el circuito de salida del arreglo FV opera en modo flotante. Un número de variantes a este circuito es posible, particularmente la utilización de un monitor de aislamiento no es indispensable. Es posible el uso de fusibles como dispositivos de sobrecorriente.

6.1.3 Capacidad de generación

Para evitar disturbios en la red y sobrecargas en el sistema de distribución, la capacidad de generación de un consumidor no deber ser mayor de la capacidad de servicio que tiene contratada y la capacidad total de generación FV dispersa en un mismo alimentador no debe ser mayor de la capacidad de transporte del alimentador.

6.2 Punto de Interconexión

El SFVI debe conectarse del lado de la carga, preferentemente en el interruptor general de servicio del inmueble. El interruptor de servicio proporciona así un medio manual de desconexión accesible al personal de la CFE, siempre y cuando cumpla con las características que se especifican en el inciso 6.10.5 (véase figura 3).

Es posible conectar la salida del SFVI en otro punto del sistema eléctrico del inmueble cuando el SFV se encuentre a una distancia considerable del interruptor general de servicio, siempre y cuando se cumpla lo siguiente:

a) La suma de las capacidades de los dispositivos de sobrecorriente de los circuitos que alimenta un bus o conductor no debe exceder de 120 % la capacidad de transporte de corriente del bus o conductor.

b) Todos los interruptores que van a ser alimentados con corriente en ambos sentidos dentro del sistema eléctrico deben estar especificados para operación bidireccional.

c) Las condiciones de mantenimiento y supervisión deben ser garantizadas para que solamente personal calificado opere y proporcione mantenimiento a las instalaciones.

d) Todas las medidas de seguridad y protección que se indican en esta especificación se deben implementar y mantener. Así mismo, se deben verificar periódicamente.

6.3 Tensión de Interconexión

La conexión eléctrica del SFVI se debe realizar en la red de distribución de baja tensión, dependiendo de la tensión de servicio. Las tensiones de distribución para servicio doméstico de la CFE son 127 V para sistemas monofásicos a 2 hilos; 120 V/240 V para sistemas monofásicos a 3 hilos y 220 V/127 V para sistemas trifásicos de 4 hilos.

6.4 Número de Fases

El número de fases en la salida del subsistema de acondicionamiento de potencia del SFVI depende de las características de la carga del usuario y por consecuencia, del servicio que proporcione la CFE al usuario.

Normalmente la CFE proporciona servicio monofásico a 2 hilos a consumidores no mayores de 5 kW; servicio monofásico a 3 hilos o bifásico a 3 hilos a consumidores entre los 5 kW y 10 kW y servicio trifásico a consumidores mayores de 10 kW.

Con base en dichos criterios se debe emplear un SAP monofásico si la potencia nominal del SFVI no excede de 10 kWp y un subsistema de acondicionamiento de potencia trifásico si la potencia nominal del SFVI es superior a 10 kWp.

La interconexión de SFVI monofásicos menores a 10 kW en instalaciones eléctricas trifásicas (ya sea entre fases o de fase a neutro) es factible siempre y cuando se cumplan satisfactoriamente los requisitos eléctricos establecidos en este documento.

6.5 Medición de la Energía

Dado el intercambio de energía eléctrica que se tiene en el PAC, entre el binomio SFV-usuario y la red a la cual está interconectado el SFV (véase párrafo 4.16), es necesario contabilizar de manera separada tanto la energía que se demanda de la red como aquella que es vertida del SFV a ella por un superávit en la generación FV (véase figuras D1 y D2). Esta medición se debe realizar mediante un solo equipo, el cual debe ser del tipo estado sólido.

La medición de la energía demandada de la red, como la vertida del SFV a ésta, es responsabilidad de la CFE.

La medición de estas cantidades de energía deben cumplir con la normatividad que emita la Comisión Reguladora de Energía o en su defecto con las especificaciones de la CFE y su valor económico debe ser establecido de acuerdo a lo indicado en el contrato de interconexión y sus anexos.

6.6 Transformador de Interconexión

La interconexión del SFV con la red de distribución se debe realizar mediante un transformador que garantice el aislamiento galvánico del SFVI, independientemente de la configuración del GFV.

Si el diseño del inversor incluye un transformador (como es el caso de los inversores de alta frecuencia), no es necesario un transformador externo para proveer aislamiento eléctrico con la red.

En sistemas trifásicos, el uso de transformadores de aislamiento Δ/Y o Δ/Δ, garantiza el aislamiento galvánico del SFVI y previene el flujo de corrientes de falla a tierra a través del transformador. Este aislamiento permite eliminar más rápido fallas a tierra del GFV y permite diseñar sus protecciones contra fallas a tierra sin restricciones por la necesidad de coordinación con las protecciones de la red.

6.7 Límites de Operación de la Red

Se especifican como referencia los rangos de operación de los parámetros de la red de distribución de la CFE, por ningún motivo éstos deben ser modificados durante la instalación, operación o mantenimiento del SFVI.

6.7.1 Nivel de tensión

Se establece una tolerancia de ± 10 % de la tensión eficaz nominal en la regulación de tensión de sistemas de distribución de baja tensión ($V_{nom} \leq 1\ 000$ V).

6.7.2 Regulación de frecuencia

El nivel de control establecido para la frecuencia es de 59,2 Hz a 60,8 Hz.

6.7.3 Límites de distorsión armónica

Los límites de distorsión armónica de tensión en el PAC son los mostrados en la tabla 1.

TABLA 1 - Límites de distorsión armónica de tensión en el PAC establecidos para el servicio de la CFE

Tensión en kV	Clasificación de tensión	Distorsión armónica total en %	Límite para armónicos individuales en %
V < 1 kV	Baja tensión	8,0	6,0

6.8 Límites para los Disturbios en la Red, Causados por SFVI

6.8.1 Regulación de tensión

Las fluctuaciones en la potencia entregada por el SFVI no deben producir variaciones de tensión fuera de los límites especificados en el párrafo 6.7.

6.8.2 Frecuencia de operación

El sistema debe operar en sincronía con la red y no causar desviaciones en su frecuencia que sobrepasen los límites expuestos en el párrafo 6.7.2.

6.8.3 Distorsión armónica máxima

Los SFVI deben cumplir con los límites de distorsión armónica de corriente para equipos que se conectan a la red eléctrica y que se estipulan en la tabla 2. El intervalo de tensión de la tabla abarca las posibles tensiones de interconexión de los SFVI contemplados en esta especificación.

Estos límites de distorsión armónica de corriente para consumidores permiten a la CFE cumplir con los límites de distorsión armónica de tensión establecidos en la tabla 1.

TABLA 2 - Distorsión armónica máxima permitida en corriente para tensiones hasta 69 kV

Impedancia relativa (ISC / IL)	Componente armónico individual máximo de corriente para armónicas impares (%)					Distorsión armónica total (%)
	h < 11	11≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35	
(ISC / IL) < 20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20 ≤ (ISC / IL) < 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 ≤ (ISC / IL) < 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 ≤ (ISC / IL) < 1 000	12	5,5	5	2	1	15
(ISC / IL) ≥ 1 000	15	7	6	2,5	1,4	20

NOTA:
1. **Para armónicas pares los límites se reducen al 25 % de los correspondientes a armónicas impares.**
2. **Los límites mostrados deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en el 50 %.**
3. **En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.**

6.8.4 Variaciones de tensión (flicker)

La interconexión de SFV con la red de distribución de la CFE no debe causar variaciones de tensión que se encuentren fuera de los límites establecidos en la tabla 3.

TABLA 3 - Límites de variación de tensión para el servicio de CFE

Variaciones / minuto	Variación (ΔV/V) máxima de tensión (%)
	Baja tensión (V ≤ 1 kV)
0,0 – 0,0083	3,50
0,0084 – 0,0667	3,00
0,0668 – 0,5	2,50
0,501 – 2,0	2,00
2,001 – 10,0	1,75
10,001 – 30,0	1,25
30,001 – 60,0	1,00
60,001 – 240,0	0,75
240,001 – 600,0	0,50
600,001 – 1 800,0	0,25

6.8.5 Factor de potencia

El inversor de corriente debe operar con un FP superior a 0,90 inductivo o capacitivo, para potencias de salida superiores al 10 % de su potencia nominal. Para efecto de análisis el SFV se considera como una carga con FP inductivo.

6.9 Equipo de Protección en c.a. Propiedad del Usuario

La confiabilidad del SFV para operar de manera segura en paralelo con la red eléctrica depende en gran medida de las protecciones en la salida del inversor y de la interfaz con la red. El esquema de protecciones requerido para el SFVI hasta 30 kWp tiene características particulares por su condición de generadores dispersos, el uso de convertidores estáticos c.d./c.a. y su capacidad.

A continuación se especifican las protecciones necesarias para una interconexión segura para los equipos que conforman el SFV y la red eléctrica, así como para la protección de las personas que interactúan con el SFV y con la red de distribución a la cual se encuentra conectado.

6.9.1 Pérdida de red

La pérdida de la fuente primaria de energía (red eléctrica) en un alimentador con generación FV dispersa, implica el riesgo de operación en modo isla del SFVI (véase párrafo 4.9). La desconexión de la fuente primaria se puede deber a una libranza por mantenimiento o a la operación del sistema de protecciones del alimentador por causa de una falla.

A continuación se establecen los requerimientos técnicos que reducen sustancialmente las probabilidades de operación en modo isla del SFVI.

6.9.1.1 Protecciones contra operación en modo isla

El SFVI debe contar con protecciones que lo desconecten de la red en caso de pérdida de la red eléctrica, en un tiempo de 2 s, para evitar su operación en modo isla. Tales protecciones típicamente están autocontenidas en los inversores. Es necesario el empleo de un dispositivo de detección adicional como protección redundante.

En lo que respecta al dispositivo de detección adicional, la mayoría de las protecciones contra operación en modo isla están basadas en el método de detección de la tensión o de la frecuencia fuera de los límites especificados (véase párrafo 6.7). Sin embargo, existen otros métodos para detectar la operación en modo isla cuando ésta no es detectable por las protecciones contra desviación de tensión y frecuencia. Si éste fuera el caso, el método elegido debe ser probado para certificar su efectividad en la detección de operación en modo isla cuando la potencia real y reactiva hacia la red tienden a cero (pérdida de la red), en cuyo caso el tiempo de respuesta debe ser menor o igual a 1 min.

Para aspectos de seguridad véase capítulo 9. Aun cuando las protecciones son propiedad y responsabilidad del usuario la CFE podrá verificar su funcionamiento cuando así lo considere, con el objeto de garantizar que el SFV no energice redes que CFE haya librado para mantenimiento.

6.9.2 Reconexión con la red

El sistema de protecciones (típicamente autocontenido en los inversores por normatividad) debe mandar la reconexión con la red hasta que la tensión y la frecuencia de esta última se haya restablecido a sus valores normales por un lapso no menor que un minuto.

6.9.3 Desviación de la tensión de la red

Si la tensión de la red sale de los límites de tolerancia por más de 2 s, las protecciones del SFVI deben desconectar a éste de la red.

Esta protección reduce la probabilidad de operación en modo isla de los SFVI y típicamente está autocontenida en los inversores. El tiempo de retraso es indispensable para evitar desconexiones innecesarias a causa de caídas de tensión y sobretensiones de naturaleza transitoria.

6.9.4 Desviación de la frecuencia de la red

Si la frecuencia de la red está fuera del intervalo (59,5 Hz < f < 60,5 Hz) por un lapso de tiempo mayor a 0,16 s, las protecciones deben desconectar al SFV de la red eléctrica.

Esta protección, al igual que la de desviación de tensión, reduce la probabilidad de operación en modo isla y evita daños a los equipos de la red y de sus usuarios; típicamente está autocontenida en los inversores.

6.9.5 Inyección de c.d. en la red

Se debe utilizar un transformador de aislamiento (separación galvánica) para proveer protección contra inyección de c.d. en la red.

6.9.6 Medios de desconexión de la red

El SFVI debe contar con un medio de desconexión que permita su separación de la red en caso de falla o para realizar labores de mantenimiento. La necesidad de contar con este interruptor es esencial por la posibilidad de una operación en modo isla del SFVI, la cual implica riesgos al personal de la CFE.

Por cuestiones de seguridad y flexibilidad en la operación del SFVI se deben emplear dos interruptores de separación en la interfaz con la red (Int 1 e Int 2 en la figura 3). La configuración de la figura 3 permite alimentar las cargas locales del inmueble cuando se tiene el SFVI fuera de servicio y permite también la separación completa de la red de distribución.

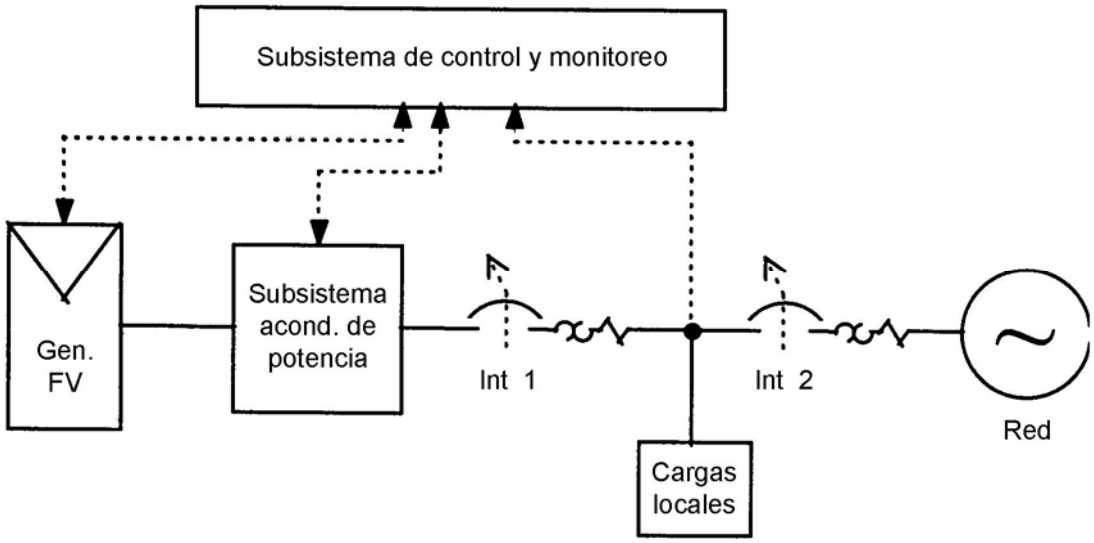


FIGURA 3 - Localización de los interruptores de desconexión con la red, responsabilidad del usuario

6.9.6.1 Interruptor de separación a la salida del inversor

El interruptor de separación a la salida del inversor (Int 1 en la figura 3) debe ser un interruptor termomagnético o de fusibles que permita la desconexión del SFV de la red y las cargas locales. La calibración del dispositivo de sobrecorriente se determina en función de la potencia máxima de salida del inversor.

El interruptor debe cubrir lo siguiente:

a) Ser manualmente operable.

b) Contar con un indicador visible de la posición "Abierto - Cerrado".

c) Contar con la facilidad de ser enclavado mecánicamente en posición abierto por medio de un candado o de un sello de alambre.

d) Tener la capacidad interruptiva requerida de acuerdo con la capacidad de cortocircuito de la línea de distribución.

e) Debe ser operable sin exponer al operador con partes energizadas.

f) Estar identificado como el interruptor de desconexión entre el SFV y la red.

6.9.6.2 Interruptor general de servicio del inmueble

Adicionalmente al interruptor de separación a la salida del inversor, la CFE establece el uso de un interruptor de servicio para la acometida eléctrica en el inmueble (véase Int 2 en la figura 3). Este interruptor propiedad del usuario debe estar accesible al personal de la CFE.

El interruptor debe tener las siguientes características:

a) Cumplir con las especificaciones de acometidas y medidores establecidas por la CFE.

b) En este caso, la calibración del dispositivo de sobrecorriente se determina en función de la potencia máxima contratada con la CFE.

c) Operar con flujo de energía en ambos sentidos. Si se selecciona un termomagnético, éste debe estar especificado para operar satisfactoriamente sin importar el sentido de flujo de potencia.

6.9.7 Cortocircuito

El interruptor de separación de la red (Int 1) debe contar con un elemento magnético o fusibles para protección de cortocircuito.

Esta protección contra cortocircuito no tiene la finalidad de proteger al SFV de sobrecorrientes provenientes del GFV, sino de corrientes de cortocircuito provenientes de la red o por alguna falla en el sistema de acondicionamiento de potencia o en el GFV.

6.9.8 Sobrecorriente

Se debe proveer al SFV protección térmica contra sobrecorriente a la salida del sistema de acondicionamiento de potencia. El valor de calibración del dispositivo de sobrecorriente debe ser igual al valor de corriente de plena carga del inversor o inversores. El interruptor de separación con la red puede incluir un elemento térmico para este propósito.

6.10 Equipo de Protección del SFV

El equipo de protección del SFV es el que se indica a continuación:

6.10.1 Medios para deshabilitar el GFV

Se debe contar con medios para sacar de operación el GFV, ya sea para realizar labores de mantenimiento o como protección contra fallas en alguno de sus componentes. Sin embargo, se debe considerar que en principio, la única forma de "apagar" un GFV es cubriéndolo de la luz solar. Puesto que esta medida resulta poco práctica y económica en algunas situaciones, es necesario recurrir a algún método alternativo.

Deshabilitar el arreglo FV puede significar alguna de tres condiciones diferentes:

a) Evitar que el arreglo produzca salida alguna.

b) Reducir la tensión de salida a cero.

c) Reducir la corriente de salida a cero.

La primera opción es la más segura pero requiere cubrir el arreglo de la luz solar. De las opciones restantes se debe identificar que resulta menos riesgoso y más fácil de manejar en cada caso, la corriente de cortocircuito o la tensión de circuito abierto del arreglo.

En arreglos de pequeña capacidad (≤ 2 kWp) y cuyo tensión de circuito abierto no exceda 200 V c.d. resulta suficiente abrir las terminales del circuito de salida de c.d. para deshabilitar el arreglo. Para este propósito se debe utilizar un interruptor para c.d. que cumpla con las especificaciones para operar a tensión y corriente de dicho circuito.

En arreglos FV con potencias superiores a 2 kWp, es recomendable contar con medios de desconexión para seccionar el arreglo en segmentos cuyo tensión de circuito abierto sea menor que 200 V c.d. y su corriente de cortocircuito no exceda 20 A. Esto permite llevar a cabo labores de mantenimiento de manera segura. Adicionalmente, resulta conveniente que el subsistema de control mande la apertura de los interruptores de seccionamiento en caso de que sea detectada una falla en el arreglo FV.

6.10.2 Detección de fallas a tierra

Las fallas a tierra en los circuitos del GFV son potencialmente peligrosas debido a que pueden producir arcos eléctricos y como consecuencia incendios. Los GFV son esencialmente fuentes de corriente, capaces de producir arcos eléctricos por tiempo prolongado con corrientes de falla que no fundirían un fusible, como se indica en la referencia [2] del capítulo 13 de esta especificación.

Se debe proveer de un sistema de detección de fallas a tierra en instalaciones donde existan riesgos de incendios por localizarse cerca de materiales inflamables, como puede ocurrir en algunas azoteas y techos residenciales. Se puede omitir la utilización de un sistema de detección de fallas a tierra cuando todos los componentes que conforman el GFV cuentan con doble aislamiento (clase II) y las instalaciones se han hecho de manera que se minimicen las posibles fallas en el cableado (véase párrafos 9.1 y 9.5).

Se debe contar con medios de detección de fallas a tierra en instalaciones cuya potencia nominal pico supera los 10 kWp, ya que a medida que se incrementa el tamaño del GFV resulta más difícil su detección y localización.

El tipo de sistema de detección de fallas a tierra depende de las condiciones de puesta a tierra del GFV. En cualquier caso, debe cumplir las siguientes funciones:

a) Detectar fallas a tierra.

b) Interrumpir la corriente de falla.

c) Deshabilitar el arreglo (ver sección anterior).

El detector debe contar con un sistema de alarma o una indicación en el panel de control del tipo de falla ocurrida.

A continuación se establecen los esquemas de protección contra fallas a tierra para GFV con sistema de c.d. aterrizado y flotante, véase párrafo 6.1.

6.10.2.1 GFV aterrizado

En generadores fotovoltaicos aterrizados, una falla a tierra produce corrientes de falla grandes. Esto hace más fácil la detección y permite utilizar instrumentos menos sensibles para tal propósito. Las corrientes de falla elevadas incrementan el riesgo de arcos eléctricos. En consecuencia, para sistemas residenciales con generador aterrizado donde exista el riesgo de incendio por causa de un arco, es necesaria la utilización de un sistema de detección permanente.

Los dispositivos de detección de falla a tierra para uso específico en sistemas FV están en etapa de desarrollo comercial. Sin embargo se puede construir un dispositivo de corriente residual como el de la figura 4. El sistema debe ser instalado en el circuito de salida del generador.

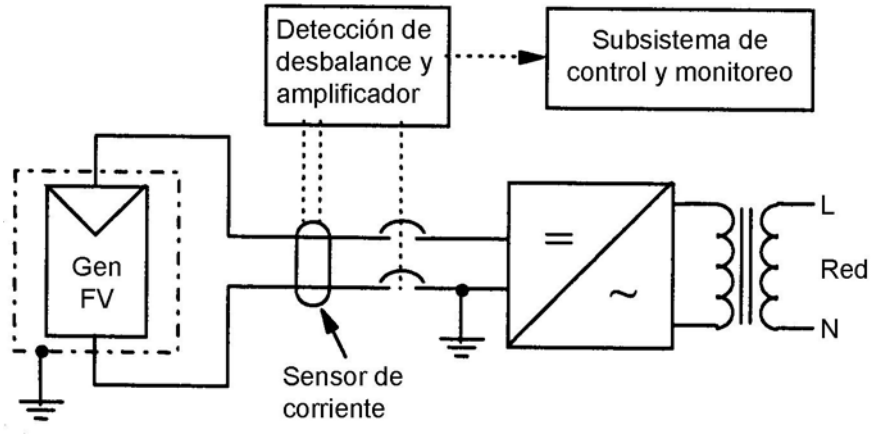


FIGURA 4 - Esquema de protección contra fallas a tierra para generadores aterrizados responsabilidad del usuario

Como se indica en la figura 4, el sensor de corriente detecta cualquier desbalance en la corriente de los dos polos del circuito de salida del GFV. Esta protección debe estar calibrada para abrir el interruptor cuando se detecte un desbalance mayor que la corriente de fuga a tierra del arreglo FV en condiciones húmedas, ya que ello indica una falla a tierra. La corriente de fuga a tierra en un arreglo FV varía dependiendo de la capacidad y tensión de salida del arreglo, la calidad del encapsulado de los MFV y de la salinidad del medio ambiente. Por lo tanto, la calibración del interruptor residual se debe hacer con base en la medición previa de dicha corriente de fuga.

Algunas observaciones importantes:

a) El sensor de corriente se debe instalar antes del punto de conexión a tierra.

b) El área de detección del sistema con dispositivo de corriente residual es del punto de colocación del sensor de corriente hacia el GFV.

c) En GFV aterrizados, la desconexión del conductor de tierra del sistema es la única manera confiable de interrumpir la corriente de falla a tierra.

d) El uso de un transformador de aislamiento con la red es indispensable cuando el GFV está aterrizado.

6.10.2.2 GFV flotante

La detección de fallas a tierra en GFV flotantes es más difícil porque una falla sencilla a tierra no produce corrientes de falla fácilmente detectables. En este caso se requieren dos fallas a tierra para producir corrientes de falla grandes. Por ello, el riesgo de arcos eléctricos es considerablemente menor. Si se cuenta con un sistema de detección de fallas a tierra, éste puede detectar la primera falla y deshabilitar el arreglo antes de que ocurra una segunda falla a tierra.

En GFV flotantes la detección de falla a tierra se puede hacer de tres maneras:

a) Verificación periódica del aislamiento, utilizando un medidor de resistencia de aislamiento.

b) Instalación de un dispositivo "monitor de aislamiento" permanente (véase figura 5), que verifica la resistencia a tierra de ambos polos con una frecuencia predeterminada. En este caso, el SFV debe estar eléctricamente aislado de la red (con transformador de aislamiento).

c) Con un dispositivo de corriente residual instalado en la salida del subsistema de acondicionamiento de potencia, para lo cual es necesario que no haya separación galvánica entre el GFV y la red (sin transformador de aislamiento) y se requiere que el conductor neutro del sistema de c.a. esté sólidamente conectado al sistema de tierras de los equipos del GFV (referencia [2] del capítulo 13 de esta especificación).

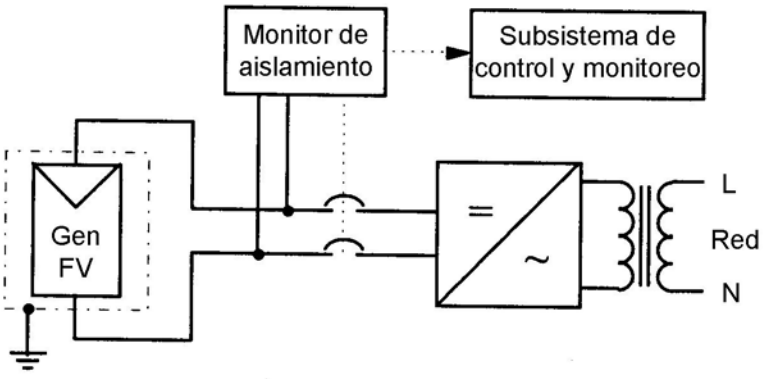


FIGURA 5 - Monitor de aislamiento para detectar fallas a tierra en GFV flotantes responsabilidad del usuario

6.10.3 Sobrecorriente

Las protecciones contra sobrecorriente son las siguientes:

6.10.3.1 Ramas del arreglo o subarreglo

Cada una de las ramas del arreglo o arreglos se deben proteger con dispositivos de sobrecorriente. En GFV aterrizados no se deben instalar dispositivos de sobrecorriente en los conductores aterrizados porque su apertura pondría al circuito correspondiente en modo flotante. En este caso, solamente se requiere un dispositivo de sobrecorriente en el polo positivo de cada rama (véase figura 6a).

En GFV flotantes es necesario instalar dos dispositivos de sobrecorriente en cada rama, uno en el polo positivo y uno en el polo negativo (véase figura 6b).

a) Excepción 1.

Cuando el arreglo o subarreglo tiene menos de tres ramas en paralelo y se han seguido las prácticas de instalación indicadas en los subincisos 6.10.3.2, 6.10.3.3 y en los párrafos 9.1 y 9.5.

b) Excepción 2.

Cuando los equipos que conforman el GFV cuentan con doble aislamiento (clase II) y se han seguido las prácticas de instalación indicadas en los párrafos 9.1 y 9.5.

c) Excepción 3.

Cuando el GFV cuenta con un sistema de detección de fallas a tierra que opera de manera permanente y se han seguido las prácticas de instalación indicadas en los párrafos 9.1 y 9.5.

Las consideraciones para la selección de los dispositivos de sobrecorriente son las siguientes:

a) Se pueden utilizar interruptores termomagnéticos. Esta solución además de proteger al circuito en cuestión contra sobrecorrientes, provee los medios de desconexión que se especifican en el inciso 6.10.5 de esta especificación.

b) Alternativamente se pueden utilizar dispositivos de desconexión con portafusibles integrados.

c) Deben estar especificados para uso en circuitos de c.d.

d) Su calibración nominal debe ser entre 125 % y 150 % de la corriente de cortocircuito del circuito a proteger y debe ser menor que la capacidad de conducción de corriente de los conductores del mismo circuito.

e) Tener la capacidad de tensión apropiada.

f) Preferentemente utilizar dispositivos con retraso de tiempo para evitar desconexiones por sobrecorrientes transitorias.

g) Tener la capacidad de interrupción de corriente adecuada. Para determinar dicha capacidad se deben considerar las corrientes factibles de todas las fuentes, incluyendo corrientes de falla provenientes de la red que pueden pasar a través del inversor.

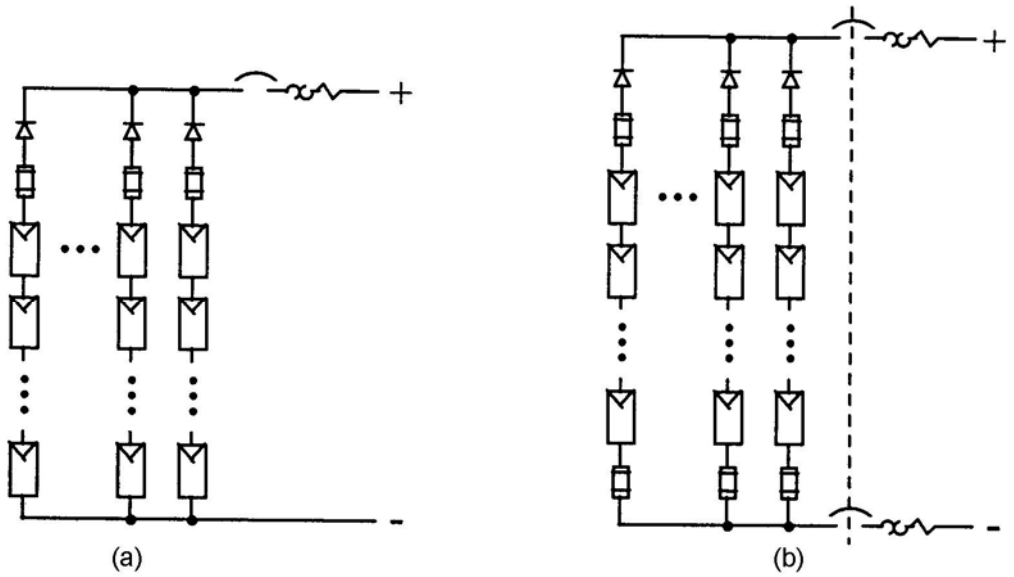


FIGURA 6 - Dispositivos de sobrecorriente en ramas y subarreglos de un GFV: (a) Aterrizado, (b) Flotante, ambos responsabilidad del usuario

6.10.3.2 Circuito de salida de los subarreglos del GFV

Se deben proteger los conductores del circuito de salida de cada subarreglo con dispositivos de sobrecorriente.

En GFV aterrizados, no se deben instalar dispositivos de sobrecorriente en los conductores aterrizados porque su apertura pondría al circuito correspondiente en modo flotante, en este caso, solamente se requiere un dispositivo de sobrecorriente en el polo positivo de cada subarreglo (véase figura 6a).

En GFV flotantes, es necesario instalar dos dispositivos de sobrecorriente en cada polo del circuito de salida del subarreglo correspondiente, uno en el polo positivo y otro en el negativo (véase figura 6b).

a) Excepción 1.

Cuando el arreglo tiene menos de tres subarreglos conectados en paralelo, cada rama cuenta con protección contra sobrecorriente y se han seguido las prácticas de instalación indicadas en los párrafos 9.1 y 9.5.

b) Excepción 2.

Cuando los equipos que conforman el GFV cuentan con doble aislamiento (clase II) y se han seguido las prácticas de instalación indicadas en los párrafos 9.1 y 9.5.

c) Excepción 3.

Cuando el GFV cuenta con un sistema de detección de fallas a tierra que opera de manera permanente y se han seguido las prácticas de instalación indicadas en los párrafos 9.1 y 9.5.

Las consideraciones para la selección de dispositivos de sobrecorriente son las mismas que las expuestas en el subinciso 6.10.3.1.

6.10.3.3 Circuito de salida del arreglo FV

No es necesario proteger el circuito de salida del arreglo FV contra sobrecorrientes porque el arreglo no es capaz de producir sobrecorrientes en su circuito de salida. En cualquier caso el uso de un medio de desconexión en el circuito de salida del arreglo es indispensable, véase inciso 6.10.5.

6.10.3.4 Sistema de c.a.

Las protecciones contra sobrecorriente en el sistema de c.a. han sido expuestas en los incisos 6.9.7 y 6.9.8. Los interruptores de separación de la red no solo proveen protección a la interfaz, sino también a los equipos del SFV contra posibles corrientes de falla provenientes de la red.

6.10.4 Sobretensiones

Las sobretensiones en instalaciones FV ligadas a la red son causadas por factores internos y externos. Entre los factores internos están las fallas en componentes, errores de operación y transitorios por conmutación. De los factores externos, la causa principal de sobretensiones son las descargas atmosféricas; otras causas externas al sistema son transitorios en la red y en la carga local.

Es indispensable proveer medios de protección contra sobretensiones en instalaciones FV por varias razones: proteger a los equipos de posibles daños, asegurar la continuidad del servicio que proporcionan y reducir riesgos a las personas que interactúan con el sistema. Para lograr una protección adecuada se deben implementar las medidas de protección que se establecen en la norma IEC 61173.

6.10.4.1 Consideraciones adicionales

a) Se debe evitar la formación de espiras conductoras de gran área, particularmente es recomendable que los conductores positivo y negativo del circuito de salida del GFV discurran juntos. Esto reduce las sobretensiones inducidos en el sistema eléctrico por descargas atmosféricas cercanas.

b) Los conductores de tierra de equipos no deben correr paralelamente o cerca de conductores de corriente para minimizar el acoplamiento de sobretensiones al sistema.

c) Los conductores de tierra de los equipos deben ser lo más cortos posible, y se deben conectar directamente al electrodo de tierra más cercano o al bus de tierra.

d) Utilizar estructuras de montaje de sección transversal grande para reducir las sobretensiones inducidas.

6.10.5 Medios de desconexión

Es indispensable contar con medios que permitan seccionar el sistema, para desenergizar los equipos que lo conforman y para evitar energizar la red de CFE en caso de licencias para mantenimiento. Aun cuando las protecciones son propiedad y responsabilidad del usuario la CFE puede verificar su funcionamiento cuando así lo considere, con el objeto de garantizar que el SFV no energice redes que CFE haya librado para mantenimiento.

En sistemas aterrizados, los medios de desconexión manuales o automáticos se deben instalar solo en los conductores no aterrizados, ya que la desconexión de un conductor que se encuentra aterrizado puede llevar al sistema a operar en modo flotante. Una excepción a esta regla ocurre en el circuito de salida del GFV, cuando el sistema de protección contra fallas a tierra prevé la desconexión del conductor aterrizado del sistema para interrumpir la corriente de falla (véase subinciso 6.10.2.1).

En sistemas flotantes se deben proveer medios de desconexión para ambos polos de los circuitos de c.d. que conforman el GFV.

6.10.5.1 Para los equipos

Cada equipo en un SFVI debe contar con medios de desconexión para aislarlo de los demás equipos y de todas las fuentes de energía. Los medios de desconexión pueden ser interruptores o conectores, dependiendo de su función dentro del sistema para evitar energizar la red de CFE en caso de licencias para mantenimiento. Aun cuando las protecciones son propiedad y responsabilidad del usuario la CFE puede verificar su funcionamiento cuando así lo considere, con el objeto de garantizar que el SFV no energice redes que CFE haya librado para mantenimiento.

Los interruptores localizados apropiadamente, con la calibración y capacidad de interrupción adecuadas, cumplen ampliamente con las funciones de desconexión y protección contra sobrecorriente y cortocircuito.

En el diagrama de bloques de la figura 7 se ilustra la localización de medios de desconexión para los posibles equipos que conforman un SFVI. Un interruptor entre el inversor y el transformador no es necesario puesto que en caso de servicio el conjunto inversor-transformador puede ser aislado de ambas fuentes.

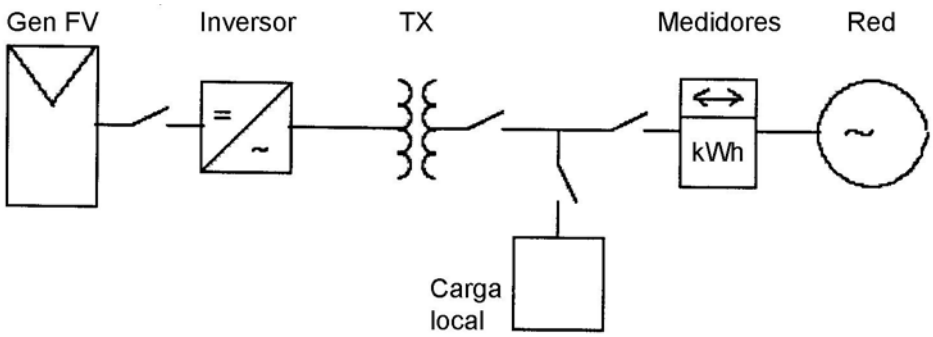


FIGURA 7 - Medios de desconexión para los equipos de un SFV

6.10.5.2 Para seccionar un arreglo FV

Se requiere contar con medios que permitan seccionar el arreglo en segmentos no peligrosos. Así mismo, los medios de seccionamiento son útiles para realizar labores de mantenimiento al arreglo FV. Para cumplir este requerimiento se deben instalar medios de desconexión para cada rama y para cada subarreglo del GFV.

Los medios de desconexión para el seccionamiento del arreglo pueden ser interruptores o conectores que cumplan con las especificaciones establecidas en el inciso 9.5.6. El empleo de interruptores termomagnéticos es recomendable porque además de proporcionar los medios de desconexión necesarios, provee las protecciones contra sobrecorriente que se especifican en el inciso 6.10.3.

En arreglos de bajo tensión (hasta 48 V nominales) y de pequeña capacidad (hasta 2 kWp), la utilización de fusibles en cada rama puede sustituir a los medios de desconexión a la vez que proporciona protección contra sobrecorriente.

6.10.6 Otras protecciones al GFV

6.10.6.1 Diodos de bloqueo

Se deben utilizar diodos de bloqueo en cada rama del arreglo adicionalmente a las protecciones por sobrecorriente (véase figura 6). Los diodos no son dispositivos de sobrecorriente, sin embargo, ayudan a controlar algunas corrientes de falla en las ramas del GFV. Para minimizar las pérdidas por conducción se deben utilizar diodos “Schottky”. Es recomendable sobredimensionar la corriente nominal en un 50 % para reducir las caídas resistivas en los diodos de bloqueo, ya que su resistencia en estado de conducción disminuye al aumentar su capacidad. En cuanto a la tensión de bloqueo, ésta debe ser al menos el doble de la tensión de circuito abierto del arreglo, con el propósito de compensar las sobretensiones que se pueden presentar por descargas atmosféricas y maniobras de conmutación.

6.10.6.2 Diodos de paso

Los diodos de paso se utilizan para aliviar la disipación de energía en los MFV causada por el sombreado parcial o total de uno o varios de ellos. El sombreado puede ocurrir por obstrucción parcial de la radiación incidente en el arreglo FV o por defectos de fabricación de las celdas. La utilización de diodos de paso es indispensable, ya que evita daños mayores a los módulos y reduce considerablemente las pérdidas de potencia por concepto de sombreado.

Se debe utilizar por lo menos un diodo de paso en paralelo con cada módulo del arreglo FV. El ánodo del diodo se conecta a la terminal negativa del módulo y el cátodo del diodo a la terminal positiva del mismo.

Normalmente los fabricantes incluyen uno o dos diodos de paso en cada módulo, en cuyo caso no es necesario instalar diodos adicionales.

7 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las condiciones de operación para el funcionamiento adecuado de un SFVI están contenidas en esta sección. Aun cuando las protecciones son propiedad y responsabilidad del usuario la CFE puede verificar su funcionamiento cuando así lo considere, con el objeto de garantizar que el SFV no energice redes que CFE haya librado para mantenimiento.

7.1 Instalación Eléctrica en General

Las conexiones de puesta a tierra del SFVI deben cumplir con lo establecido en el párrafo 9.4. Las condiciones ambientales del sitio de instalación inciden directamente sobre esta conexión.

En lo que respecta a la instalación eléctrica en general como son conductores, conexiones y canalizaciones eléctricas, cada componente debe cumplir con lo establecido en el párrafo 9.5, donde se especifican las características que debe reunir cada elemento para una adecuada operación.

Finalmente, se deben observar puntualmente las condiciones de operación que establecen los fabricantes de cada uno de los subsistemas del SFVI, como son los MFV y el inversor o inversores, para el mejor desempeño del sistema en su conjunto.

7.2 Espacio Disponible

La superficie que ocupa este tipo de instalaciones depende de la potencia instalada y del tipo de módulos fotovoltaicos que se utilicen. El peso de los MFV también varía en función del tipo que se utilice. Es deseable que el inmueble cuente con una pared sombreada y resguardada en la que se puedan instalar los inversores e interruptores.

7.3 Orientación del Arreglo

Ésta es una de las características más importantes para el mejor aprovechamiento del recurso solar. Sin embargo, se debe tener presente que dicha orientación se puede ver afectada tanto por la ubicación y arquitectura del inmueble, como por las características constructivas del mismo.

Se debe procurar siempre orientar el GFV hacia el sur con una inclinación equivalente a la latitud geográfica del sitio de la instalación, con ello se maximiza la captación del recurso solar a lo largo del año.

Es necesario señalar que independientemente de la inclinación que se le dé al arreglo para maximizar la captación de energía en alguna estación del año en particular, la captación total anual en cada caso no guarda una diferencia significativa y lo único que se logra es incrementar la generación FV en la estación de interés.

Se debe considerar que en ningún momento del día los módulos deben estar a la sombra, aunque sea sólo parcialmente.

7.4 Mantenimiento

El alcance y periodicidad del mantenimiento preventivo necesario en el SFVI depende en gran medida de las condiciones ambientales específicas en la zona, principalmente del grado de polvo, humedad en el ambiente e irradiación solar (para el caso de cables y gabinetes no metálicos).

El mantenimiento correctivo del SFVI, cuando se presenta una falla que deshabilita su operación normal, debe ser atendido por personal técnico especializado.

A continuación se listan las principales labores (periódicas) de mantenimiento preventivo y verificación operacional que demanda un SFVI.

7.4.1 Instalación eléctrica

A la instalación eléctrica en general se debe realizar una verificación anual del estado que guarda el aislamiento de los conductores expuestos a la intemperie (no canalizados), buscando básicamente evidencia de resquebrajamiento del aislamiento o daño físico en los mismos. Asimismo, se debe verificar que todas las canalizaciones eléctricas se mantienen en buen estado y se encuentran debidamente soportadas.

En relación a las conexiones eléctricas en el circuito, la verificación física de que éstas se conservan firmemente sujetas (apretadas) en todos y cada uno de los puntos de conexión solamente se justifica cuando hay evidencia de que el conductor, la tubería “conduit” o el gabinete ha sido o está sometido a esfuerzos mecánicos y/o presenta un daño físico visible. La causa más común que da lugar a este tipo de anomalía es la tensión de los cables originada por soportes sueltos o la ausencia de éstos.

Verificar que la conexión a tierra del sistema y la de cada uno de los equipos, se mantiene firme y sin señales de corrosión.

7.4.2 Módulos FV

Antes de dar mantenimiento al GFV se deben seguir estrictamente las instrucciones indicadas para ello en el manual del instalador del SFVI. Poniendo especial interés en el apagado del GFV (desenergizarlo), tanto en c.a. como en c.d.

Para el óptimo desempeño del SFV se debe conservar siempre libre de polvo y/o suciedad la superficie de los módulos FV. Por lo tanto, se debe:

a) Limpiar la superficie de vidrio del módulo según sea necesario, utilizando agua y una esponja o paño suave para la limpieza. Se puede emplear un agente de limpieza suave y no abrasivo para quitar suciedad resistente. Esta operación es similar a la que demanda la limpieza de la carrocería de un automóvil.

b) Verificar las conexiones eléctricas y mecánicas cada seis meses para asegurarse que se encuentren limpias, seguras y libres de daño.

c) Realizar la limpieza al menos cuatro veces al año o bien en función de la cantidad de polvo en el ambiente dependiendo de la época del año.

7.4.3 Diodos de derivación

Es necesario probar los diodos de derivación en el GFV cuando se pone en operación por primera vez o su tensión se ha caído muy por debajo de su valor especificado. Generalmente estos diodos se encuentran dentro de las cajas de conexiones de los MFV. Para extraerlos y probar su estado operativo es necesario:

a) Destapar la caja de conexiones.

b) Extraer el diodo respetando la marca de su polaridad.

c) Verificar la conductividad del diodo. Este debe conducir electricidad cuando las conexiones de prueba están conectadas en una dirección y mostrar una alta resistencia en la dirección opuesta. Si un diodo conduce en ambas direcciones está defectuoso.

d) En caso que el diodo esté defectuoso se debe reemplazar por otro de características similares; respetando la posición de la polaridad original. De ser posible el diodo se debe soldar a los contactos.

e) Finalmente, verifique la tensión de circuito abierto del MFV y cierre la cubierta.

7.4.4 Inversor

Antes de dar mantenimiento al inversor se deben seguir estrictamente las instrucciones indicadas para ello en el manual del fabricante, poniendo especial interés en el apagado del inversor (desenergizarlo), tanto en c.a. como en c.d. Se recomienda que al menos cada mes (o según se requiera) se dé mantenimiento preventivo a:

a) Disipador de calor.

La acumulación de polvo y suciedad en las aletas del disipador de calor y en el cuerpo y las rejillas de protección del ventilador, si el equipo está provisto de uno, decrece la capacidad de transferencia de calor, lo cual puede originar la salida de operación del inversor al operarse la protección contra sobretemperatura. Por lo tanto, se debe inspeccionar la acumulación de suciedad en las aletas del disipador de calor y en la rejilla de protección del ventilador y limpiarse adecuadamente.

b) Operación del ventilador.

En caso que el inversor cuente con ventilación forzada, se debe verificar la adecuada operación del ventilador del disipador de calor. Normalmente el ventilador opera a través del cierre de contactos de un relevador. Retire el polvo y/o suciedad acumulada en el ventilador y en la guarda de protección.

Semestralmente:

c) Empaquetaduras del gabinete.

Inspeccione el sello de la puerta del gabinete. Si está dañado remplace la empaquetadura.

d) Conexiones eléctricas.

Inspección de las condiciones de todos los cables de entrada y de salida del inversor. Inspeccione todas las terminales de los cables y las conexiones de daños causados por alta temperatura y revise corrosión. Remplace cualquier conductor dañado. Verifique que todas las conexiones se mantienen firmes y apretadas.

e) Gabinete.

Abra el gabinete y remueva el polvo o suciedad acumulada en el interior. El gabinete debe quedar perfectamente hermético para evitar la entrada de agua, polvo y/o tierra al interior.

A continuación se proporciona el procedimiento general para desenergizar o energizar el inversor del SFVI.

7.4.4.1 Apagado del inversor

a) Mover el interruptor ON/OFF a la posición “OFF” (si el inversor cuenta con un interruptor integrado).

b) Abrir el interruptor del GFV.

c) Abrir el interruptor de salida c.a. para la desconexión del SFVI de la red.

d) Abrir el interruptor del transformador de aislamiento (en el caso de no estar integrado éste en el inversor).

e) Bloquear el interruptor del transformador de aislamiento, y los interruptores de entrada y salida del inversor contra operación por terceros.

NOTA: **Las terminales de entrada FV se encuentran energizadas si el GFV no está desconectado. Se requiere de alrededor de 5 min para que todos los capacitores en el gabinete se descarguen una vez apagado el inversor.**

7.4.4.2 Encendido del inversor

a) Retirar los dispositivos de bloqueo del interruptor del transformador de aislamiento y de los interruptores de entrada y salida del inversor.

b) Cerrar el interruptor del transformador de aislamiento (en el caso de no estar integrado éste en el inversor).

c) Cerrar el interruptor de salida c.a. para conexión del SFVI de la red.

d) Cerrar el interruptor del GFV.

e) Mover el interruptor ON/OFF a la posición “ON” (si el inversor cuenta con un interruptor integrado).

f) Verificar que el indicador de operación normal (comúnmente un “led” verde) se encuentra encendido.

Después de aproximadamente 15 s que el equipo requiere para realizar su rutina de inicialización y en algunos casos alrededor de 5 minutos para llevar el sistema a condiciones de operación normal, el inversor automáticamente debe operar el GFV en el punto de máxima potencia (PMP) cuando el tensión del arreglo es mayor al tensión de arranque ajustado en el inversor.

La verificación de operación normal se debe realizar durante el día, cuando el sistema está generando. El encendido de cualquier otro “led” indica seguramente la detección de una falla en el sistema y se debe consultar el manual de usuario del fabricante del inversor para implementar cualquier acción correctiva o para el restablecimiento de éste a su operación normal.

8 CONDICIONES DE DESARROLLO SUSTENTABLE

No aplica.

9 CONDICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

Los aspectos de seguridad y protección son de vital importancia en la planeación, diseño, instalación, operación y mantenimiento de un SFVI. Los generadores dispersos interconectados con la red eléctrica de la CFE, requieren de medidas de seguridad particulares. La interfaz con la red representa algunos riesgos potenciales para los equipos de la CFE, para el SFVI y para las personas involucradas en la operación y mantenimiento de ambos. Aun cuando las protecciones son propiedad y responsabilidad del usuario la CFE puede verificar su funcionamiento cuando así lo considere, con el objeto de garantizar que el SFV no energice redes que CFE haya librado para mantenimiento.

9.1 Aspectos de Instalación

La correcta instalación de SFVI es muy importante para evitar posibles fallas y/o accidentes ocasionados por prácticas inapropiadas de instalación o daños a los componentes en este proceso. En esta sección se describen los aspectos más importantes a observar durante la instalación de un SFVI:

a) Considerar la utilización de componentes aprobados para la utilización en SFV. En cuanto a los módulos, éstos deben estar certificados por algún laboratorio reconocido. Respecto al equipo de c.d., se debe asegurar que los interruptores, fusibles, entre otros, están especificados para esta utilización.

b) Los conductores de un SFV no se deben instalar en los mismos ductos, charolas, ni cajas de conexión de otros sistemas eléctricos. Dos excepciones permisibles son:

- cuando los conductores de los diferentes sistemas están interconectados,
- si existe una partición para separarlos.

c) Evitar formar espiras de gran área de conductor, particularmente con los conductores que interconectan los MFV y los del circuito de salida del arreglo FV.

d) Utilizar cajas de conexión y gabinetes aprobados por algún organismo competente para el utilización que se les dé.

e) En la instalación del cableado tomar en cuenta los esfuerzos mecánicos a los que pudieran estar sometidos. Utilizar aliviadores de tensión, soportes, “conduit” y guardas conforme sea conveniente para garantizar la seguridad de la instalación.

f) Si el GFV se localiza en una parte del inmueble que sea de libre acceso a sus ocupantes o dentro de un área que tenga otros usos; es indispensable colocar una malla metálica y letreros de advertencia claramente visibles que prevengan el contacto de personas no calificadas con los equipos del sistema. Se debe tener cuidado de que la malla metálica no obstruya la radiación solar a ninguna hora del día, y durante ninguna estación del año. Además, se debe aterrizar la malla e integrarla al sistema de intercepción de rayos si el inmueble cuenta con él.

g) Si las instalaciones del SFVI se encuentran cercanas al tendido de conductores eléctricos con nivel de tensión letal o que se consideren de alto riesgo para el personal de CFE o usuarios del sistema, se deben cubrir los aspectos indicados en la norma NOM-001-SEDE.

9.2 Aspectos de Operación y Mantenimiento para la CFE

Como se trató en los párrafos 6.9 y 6.10, una vez en funcionamiento el SFVI se pueden suscitar condiciones riesgosas, tanto para los operarios de la CFE como para los usuarios del sistema, si no se toman las medidas de seguridad adecuadas durante su operación normal o en actividades de mantenimiento.

Para evitar al máximo estas condiciones de riesgo se debe poner especial atención en los siguientes dos temas:

Operación en Modo Isla e inyección de c.d. en la red eléctrica. Ésto es, verificar que no exista tensión alterna ni continua en la línea de distribución antes de iniciar cualquier trabajo en ella. Adicionalmente, se deben seguir todos los lineamientos de seguridad establecidos en los siguientes apartados.

9.2.1 Operación en modo isla

Si la desconexión de la red se debe a una maniobra por mantenimiento, la operación en modo isla de los generadores dispersos implica riesgos al personal de mantenimiento de la CFE porque pueden entrar en contacto con conductores energizados en la línea de distribución, que supuestamente se deben encontrar desenergizados.

No se permite la generación de electricidad de generadores dispersos interconectados a la red durante un corte del suministro de energía de la fuente primaria (red eléctrica).

9.2.2 Inyección de c.d.

Además de los efectos evitados en el equipo de la CFE tratados en el inciso 6.9.5, debido a una posible inyección de c.d. en la red por causa de alguna falla en el inversor, también se debe tener presente el peligro de un posible contacto accidental con un conductor con una componente letal de c.d., que puede ser incluso indetectable por equipo de medición en c.a. (de uso típico por los operarios), cuando supuestamente el conductor debe estar desenergizado para maniobras de operación y mantenimiento en la red.

9.2.3 Módulos FV

Otro aspecto a considerar en la operación y mantenimiento de un SFVI es la tensión en circuito abierto del GFV (véase párrafo 9.3). Aún cuando los dispositivos de desconexión correspondientes (véase figuras 6 y 7) estén abiertos, los MFV mantienen dicha tensión en sus terminales puesto que continúan expuestos a la luz solar, por lo que al tener un contacto accidental con ellos puede ser altamente peligroso.

Para desenergizar completamente los MFV considerar lo indicado en el inciso 6.10.1.

9.3 Tensión de Salida del GFV

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, lo más recomendable es que la tensión del GFV sea lo más alto posible para una potencia dada, de manera que las pérdidas por conducción sean mínimas. Sin embargo esta práctica tiene limitaciones por varias razones: la seguridad de las personas, la capacidad dieléctrica de los MFV y la disponibilidad comercial y costo de equipos para c.d. en las tensiones requeridas.

Para la selección del aislamiento de los componentes se deben considerar la máxima tensión de circuito abierto en el GFV. En localidades donde la temperatura ambiente durante el día oscila alrededor de 0 °C, éste puede llegar a ser 110 % de la tensión de circuito abierto, puesto que la tensión de circuito abierto aumenta en relación inversa con la temperatura de los MFV.

En sistemas de tipo residencial la tensión nominal de operación del GFV debe oscilar entre 48 V c.d. y 150 V c.d. con respecto a tierra. El límite inferior se establece por razones de eficiencia y facilidad de cableado. El límite superior constituye una tensión que no representa riesgos de ocasionar accidentes graves en caso de “shock” eléctrico, por otra parte, es fácil encontrar dispositivos de corriente directa comerciales para tensiones nominales hasta 150 V c.d.

Para sistemas comerciales y con potencias superiores a los 5 kWp, la tensión nominal del GFV debe oscilar entre 125 V c.d. y 600 V c.d. con respecto a tierra. El límite inferior se establece por razones de eficiencia y facilidad de cableado. El límite superior obedece al hecho de que la mayoría de los MFV comerciales pueden emplearse con tensión del sistema hasta 600 V a tierra; por otra parte, aunque existen en el mercado MFV cuyo aislamiento permite el empleo de tensiones de sistema mayores, se considera innecesario superar los 600 V a tierra en pequeños sistemas dispersos cuya capacidad no supera 30 kWp.

9.4 Condiciones de Puesta a Tierra

9.4.1 Requerimientos generales

En la instalación de un sistema de tierras para un SFVI es conveniente proveer una barra de tierra que sirva como referencia a tierra tanto al sistema de c.d. como a todos los equipos que se conectan a tierra (véase figura 8). La localización más conveniente para esta barra de tierra en sistemas aterrizados es la caja de conexión principal del GFV. Para sistemas flotantes, la barra de tierra se debe colocar lo más cerca posible de los equipos que van a ser aterrizados, particularmente de los descargadores de sobretensión. El (los) electrodo(s) de tierra se debe conectar sólidamente a esta barra con un conductor cuyo calibre sea por lo menos el calibre del conductor de tierra del SFVI.

Adicionalmente, se debe proveer de barras de tierra auxiliares para los equipos que se encuentren a una distancia considerable de la barra principal de tierra. Ésto permite establecer una referencia a tierra auxiliar para equipos que se encuentren agrupados en una misma área física. Para interconectar la(s) barra(s) de tierra auxiliar(es) con la barra de tierra principal se debe utilizar un conductor con las mismas características que el utilizado para conectar la barra principal de tierra con el(los) electrodo(s) de tierra.

Cuando existan otros sistemas de tierra dentro del inmueble, el sistema de tierras del SFVI debe estar conectado a ellos. Esto limita las posibles diferencias de potencial y por consiguiente incrementa la seguridad a las personas y a los equipos.

Es de particular importancia considerar la interconexión del sistema de tierras con el conductor de tierra del pararrayos, en el caso de que el inmueble cuente con él. La adecuada conexión de ambos sistemas debe reducir la magnitud de las posibles tensiones inducidas en el SFV por causa de descargas atmosféricas. Al respecto se deben tomar las siguientes consideraciones:

a) Los “conduits” y estructuras metálicas del SFVI se deben mantener a una distancia mayor o igual que 1,83 m del conductor de tierras del sistema interceptor de rayos, de lo contrario deben ser sólidamente conectados a este conductor en la zona en la que la separación es menor que 1,83 m.

b) Si un conductor de apartarrayos está presente, el GFV debe ser integrado a éste, es decir, las estructuras metálicas y marcos de MFV deben estar sólidamente conectados a este conductor. En la medida de lo posible, los MFV se deben instalar lo más lejos posible del conductor del sistema interceptor de rayos.

c) Los conductores para interconectar los sistemas de tierra, electrodos y barras de tierra deben ser al menos del mismo calibre que el conductor de puesta a tierra del SFVI.

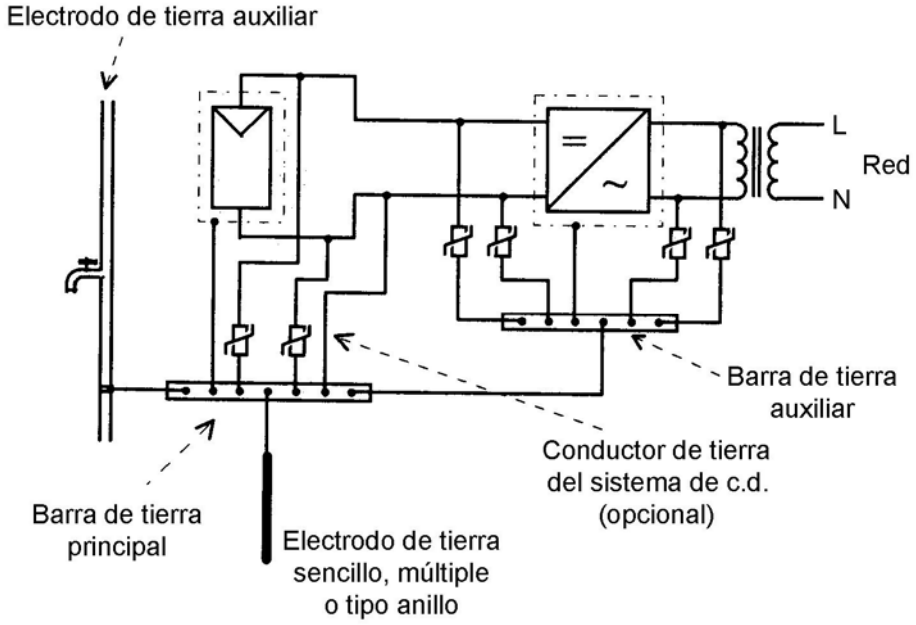


FIGURA 8 - Puesta a tierra de un SFV residencial. Interconectado con la red (sistema y equipos)

9.4.2 Equipos

Se deben conectar a tierra todas las partes metálicas que no están designadas para conducir corriente eléctrica, como son marcos de MFV, gabinetes metálicos y estructuras metálicas en general. La puesta a tierra de equipos es una medida de protección a las personas, mantiene todas las partes metálicas que normalmente no están energizadas al potencial de tierra, aún en caso de que entren accidentalmente en contacto con algún circuito energizado. Con ello se evitan descargas eléctricas a las personas que puedan tener contacto con dichas partes. Para clarificar la conexión a tierra de equipos y del sistema de c.d. (véase la figura 8).

Los siguientes puntos se deben observar en la conexión a tierra de equipos:

a) El conductor de tierra de los equipos es el que conecta las partes metálicas con la barra de tierras o con el electrodo de tierras.

b) La conexión a tierra de los equipos no se debe interrumpir al remover cualquier módulo del arreglo FV.

c) El calibre del conductor de tierra de los equipos deben ser por lo menos igual al del conductor de mayor calibre del equipo en cuestión.

d) Si el sistema de c.d. está aterrizado se debe utilizar el mismo electrodo de tierra para equipos y para el sistema de c.d. del GFV. Dos o más electrodos unidos de manera efectiva se consideran como un sólo electrodo para este propósito.

e) Si la tierra de la red está presente, se debe conectar el sistema de tierras del GFV a ésta. Es decir, la tierra del sistema de c.a. y de los equipos debe ser común.

f) Para detalles sobre el electrodo de tierra, véase la norma NOM-001-SEDE.

9.4.3 Sistema de c.d.

Un sistema de c.d. está aterrizado si un conductor vivo se conecta a tierra. Poner a tierra el sistema estabiliza la tensión con respecto a tierra en operación normal. Esta configuración facilita la operación de los dispositivos de sobrecorriente para interrumpir la corriente de falla. La puesta a tierra del sistema de c.d. es una medida de protección para los equipos de los SFVI (véase figura 8).

En sistemas de c.d. de tres hilos (GFV con derivación central) la puesta a tierra del neutro tiene la ventaja de limitar la tensión máxima de los módulos con respecto a tierra a la mitad de la tensión de circuito abierto del arreglo. Esta característica reduce significativamente el estrés dieléctrico en los módulos de SFV que operan con tensiones elevadas y reduce el riesgo de arcos voltaicos por este motivo.

Si el sistema de c.d. va a operar conectado a tierra, se deben observar los siguientes puntos:

a) La conexión a tierra del sistema se debe hacer en un solo punto del circuito de salida del GFV. Una conexión a tierra lo más cerca posible de los MFV protege al sistema contra sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas.

b) Uno de los conductores del circuito de salida, si el sistema es de dos hilos o el neutro (derivación central) si el sistema es de tres hilos, debe ser sólidamente conectado al electrodo o bus de tierra.

c) La conexión a tierra del sistema y/o de los equipos no se debe interrumpir al remover cualquier módulo del arreglo FV.

d) La designación del conductor de tierra del sistema de c.d. no debe ser menor que el conductor de mayor calibre del SFVI y en ningún caso menor a 8,37 mm^2.

e) Se debe utilizar el mismo electrodo para establecer el potencial de tierra del sistema de c.d. y los equipos. Dos o más electrodos unidos efectivamente se consideran como un sólo electrodo para este propósito. Adicionalmente, la tierra del SFVI se debe unir a la tierra de la red si está presente.

f) Para detalles sobre el electrodo de tierra, véase la norma NOM-001-SEDE.

9.5 Cableado

La selección e instalación apropiada de los conductores en un sistema eléctrico evitan riesgos de cortocircuito y fallas a tierra, con ello se reduce la probabilidad de formación de arcos eléctricos y por ende de incendios. Los métodos de cableado y la selección apropiada del tipo de conductores son consideraciones muy importantes no sólo para la seguridad de una instalación FV, sino también para la durabilidad y la facilidad de mantenimiento.

9.5.1 Métodos de cableado

Las siguientes consideraciones se deben aplicar para la instalación de conductores eléctricos:

a) La utilización de cable unifilar reduce la probabilidad de corto circuito.

b) Separar los conductores positivo y negativo en las cajas de conexión, minimiza la posibilidad de corto circuito en ellas.

c) Considerar los esfuerzos mecánicos a que puedan estar sujetos los conductores incluyendo ciclos térmicos, cargas de viento, hielo, entre otros. La instalación de soportes apropiados, “conduit” y sistemas de alivio de tensión reducen significativamente los efectos de estos factores.

d) Si es posible, instalar los cables de diferente polaridad en ductos independientes o en ductos con barrera divisoria.

9.5.2 Selección de conductores

a) Seleccionar el cable de acuerdo con las condiciones a las que va a ser sometido, considerando la estabilidad mecánica, la estabilidad térmica, la degradación por radiación UV y la exposición a ambientes húmedos. Utilizar en todos los casos cable para intemperie en el arreglo FV.

b) La tensión del aislamiento no debe ser menor que 125 % de la tensión de circuito abierto del GFV en condiciones estándar (CEP).

c) Para seleccionar la temperatura nominal del aislamiento, es importante considerar que en climas moderados la temperatura del arreglo FV puede llegar hasta 60 °C. En climas extremosos como los de las zonas desérticas y tropicales de nuestro país esta temperatura puede alcanzar 75 °C al medio día.

d) Cuando existan paneles con seguimiento en el arreglo se deben seguir las siguientes recomendaciones adicionalmente a las arriba expuestas: utilizar conductores flexibles, elegir cables para uso extra rudo e intemperie, no instalarlos en “conduit” y utilizar factores de corrección por temperatura conservadores.

9.5.3 Código de colores

Utilizar el código de colores de la norma NOM-001-SEDE. Este código establece que para sistemas aterrizados el color del aislamiento de todos los conductores con potencial de tierra debe ser blanco o gris, si la designación es mayor que 13,3 mm^2, se puede utilizar cualquier color excepto verde si se coloca pintura o cinta blanca en ambos extremos del conductor. Los conductores para aterrizar equipos deben ser desnudos o con aislamiento color verde o verde con franjas amarillas. No hay ningún requerimiento de color para el conductor no aterrizado, la convención en sistemas de potencia es utilizar negro y rojo para los primeros dos conductores.

9.5.4 Cajas de conexión

Las cajas de conexión deben cumplir con los siguientes requisitos:

a) Utilizar cajas y paneles aprobados por organismos competentes para el tipo de uso que se requiere.

b) Los conductores de otros sistemas eléctricos no se deben colocar en la misma caja a menos que ésta esté dividida o que en esa caja se lleve a cabo la interconexión de los subsistemas del SFVI.

c) Deben ser instaladas de tal forma que el acceso a las conexiones sea fácil.

d) Cerrar todas las aberturas no utilizadas con el mismo material de la caja o similar.

e) Conectar las cajas de metal al sistema de tierras.

f) Evitar la utilización de materiales inflamables.

g) Proveer un medio de sujeción adicional a los tornillos de sujeción de las terminales para evitar corto circuito. La utilización de aliviadores de tensión en los orificios para entrada de cables es una alternativa si no están cableados en “conduit”.

h) Utilizar cajas de conexión con barreras de aislamiento entre polos para evitar cortocircuitos.

9.5.5 Terminales

Se deben observar los siguientes puntos:

a) Utilizar terminales para utilización eléctrico, preferentemente sin aislamiento. Evitar la utilización de terminales para utilización electrónico o automotriz.

b) Utilizar terminales troqueladas tipo anillo. Si se utilizan tornillos estriados se pueden utilizar terminales tipo tenedor pero solamente una en cada tornillo.

c) Utilizar pinzas de utilización pesado para acoplar. En ambientes húmedos se debe acoplar y soldar las terminales.

9.5.6 Conectores

Los conectores en un SFV se pueden utilizar como medios de desconexión o deshabilitación del arreglo. Deben ser seleccionados con los mismos criterios de temperatura y capacidad de corriente que los conductores del sistema y cumplir con las siguientes condiciones:

a) Ser polarizados y no intercambiables con receptáculos de otros sistemas eléctricos en el inmueble.

b) Proveer protección contra contacto accidental con partes vivas.

c) Contar con mecanismo de seguro para evitar alguna desconexión accidental.

d) En sistemas aterrizados, el conductor de tierra debe ser el primero en hacer contacto y el último en romperlo.

e) Ser capaces de interrumpir la corriente del circuito sin riesgos para el operador.

9.6 Capacidad de Conductores

El correcto dimensionamiento de los conductores en un SFVI evita calentamiento excesivo, daños al cableado, riesgos de arcos y cortocircuitos y consecuentemente incendios. Así mismo, prolonga la vida útil de las instalaciones.

9.6.1 Corriente nominal

A continuación se exponen los criterios para determinar la corriente nominal de cada circuito del arreglo:

a) Circuito fuente o rama. La corriente máxima que se puede presentar en un circuito fuente es la corriente máxima de cortocircuito del arreglo(1).

b) Circuito principal de c.d. corriente máxima de cortocircuito del arreglo.

c) Circuito de salida de la unidad de acondicionamiento de potencia. Corriente nominal de la unidad de acondicionamiento de potencia.

NOTA: 1. La corriente máxima de corto circuito que se puede presentar en un arreglo es aproximadamente el 130 % de la corriente de corto circuito en condiciones estándar (CEP), de acuerdo a lo indicado en la referencia [4] del capítulo 13 de esta especificación. Se considera un 25 % de incremento en la corriente de corto circuito en condiciones de radiación elevada causada por efectos de albedo y refracción. Para temperaturas extremas en el MFV (70 ºC), el incremento en la corriente de salida del GFV puede alcanzar un 4 % adicional. Considerando estos dos factores se tiene un incremento total de 30 %. Cabe recordar que los periodos con altos niveles de radiación incidente y alta temperatura normalmente se presentan al mismo tiempo.

9.6.2 Sección transversal de conductores

Una vez que se conoce la corriente máxima de cada circuito del SFVI, se deben considerar los siguientes puntos para determinar la sección transversal de los conductores en cada circuito del arreglo:

a) Estimar la temperatura máxima de operación del arreglo de acuerdo con las condiciones climatológicas del lugar y elegir la sección transversal de conductor considerando los factores de corrección por temperatura apropiados.

b) En GFV con muchas ramas en paralelo, el cálculo de la corriente nominal de cada rama, de acuerdo con el inciso 9.6.1, puede implicar secciones de conductor sobre dimensionadas. Una alternativa es utilizar la sección transversal necesaria para conducir la corriente de una sola rama e instalar dos fusibles para protección de los cables en cada rama si el GFV opera flotante o un solo fusible de protección en cada rama si el GFV está aterrizado. Para aclarar la colocación de fusibles y su tipo, (véase la sección de protección contra sobrecorriente).

c) Dado que la eficiencia energética es un factor de particular importancia en SFVI, se debe asegurar que la suma de las caídas de tensión en el cableado no supere el 1 % de la tensión nominal del GFV.

d) Si el aislamiento del conductor es para 90 °C, pero la temperatura máxima de las terminales de los módulos es 75 °C, se deben utilizar los valores de capacidad para conductor con aislamiento para 75 °C.

e) Si se incrementa la sección transversal de los conductores del sistema de c.d., la sección transversal del conductor de tierra del sistema se debe incrementar proporcionalmente.

10 CONTROL DE CALIDAD

10.1 Verificación Previa a la Interconexión

Aplica lo indicado en el Apéndice A.

10.2 Verificación de Inicio de Operación

Aplica lo indicado en el Apéndice B.

11 MARCADO

Los letreros de seguridad son un instrumento valioso para evitar accidentes mediante avisos que anticipan un riesgo potencial. Es imprescindible que antes de considerar este apartado se hayan considerado los puntos indicados en 9.1.

11.1 Datos del Arreglo

Se debe proveer una placa que especifique los parámetros nominales del arreglo FV:

a) Corriente de operación.

b) Tensión de operación.

c) Tensión de circuito abierto.

d) Corriente de corto circuito.

Su localización debe de ser visible en el interruptor principal de desconexión del arreglo.

11.2 Identificación de Todas las Fuentes de Energía

En cada uno de los puntos de servicio, tales como interruptores principales y centros de carga de todas las fuentes de energía capaces de ser conectadas a la fuente primaria (la red), se debe colocar un letrero permanente con el directorio de todas las fuentes de energía en el inmueble.

11.3 Letreros para Interruptores y Dispositivos de Sobrecorriente

Todos los interruptores y dispositivos de sobrecorriente deben estar marcados de acuerdo con la nomenclatura utilizada para designarlos en los diagramas eléctricos. Adicionalmente, los interruptores y dispositivos de sobrecorriente que estén energizados por ambos lados deben contar con una placa que advierta esta condición. Referirse a los incisos 6.9.8 y 6.10.3 para información detallada al respecto.

12 EMPAQUE, EMBALAJE, EMBARQUE, TRANSPORTACIÓN Y DESCARGA

No aplica.

13 BIBLIOGRAFÍA

[1] Technical Recommendations for the Grid connection of Dispersed Power Generating Systems. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).

[2] Photovoltaic Systems. 1995. Instituto Fraunhofer para Sistemas Solares de Energía.

[3] Real, M. y Häberlin, H. 1995. Improved Safety of PV Against Fire Using a Novel Arc Detector. 13th European PVSEC (Niza, Francia). Pags. 1858-1859.

[4] Wiles, John C. Photovoltaic Power Systems and The National Electrical Code: Suggested Practices. 1993. Southwest Technology Development Institute, New Mexico State University.

[5]	**IEEE 1547**	"Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems".
[6]	**CFE L0000-02-1985**	Tensiones de Sistemas de Distribución, Subtransmisión y Transmisión.
[7]	**CFE L0000-45-2005**	Desviaciones Permisibles en la Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica.
[8]	**IEC 61727-2004**	Photovoltaic (PV) Systems - Characteristics of the Utility Interface.
[9]	**IEC 61836-1997**	Solar Photovoltaic Energy Systems – Terms and Symbols.

APÉNDICE A
(Normativo)

VERIFICACIÓN PREVIA PARA INTERCONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW

TABLA A1 – Lista de verificación previa a la interconexión

No.	Referencia	Descripción	Resultado (S o NS)
1	4.20	Correcta operación del SFVI en modo automático y manual. Comúnmente estas funciones de control y monitoreo se encuentran incorporadas en el inversor y comprenden: **a)** Arranque y paro automático. **b)** Funciones de protección.	
2	6.1.3	Capacidad de generación de un consumidor no mayor de la capacidad de servicio que tiene contratada, y la capacidad total de generación FV dispersa en un mismo alimentador no debe ser mayor de la capacidad de transporte del alimentador.	
3	6.3	SFVI conectado del lado de la carga, preferentemente en el interruptor general de servicio del inmueble. El interruptor de servicio proporciona así un medio manual de desconexión accesible al personal de la CFE, siempre y cuando cumpla con las características que se especifican en el inciso 6.10.5 Medios de Desconexión de la Red (véase figura 3). Es posible conectar la salida del SFVI en otro punto del sistema eléctrico del inmueble cuando el SFV se encuentre a una distancia considerable del interruptor general de servicio, siempre y cuando se cumplan lo siguiente: **a)** La suma de las capacidades de los dispositivos de sobrecorriente de los circuitos que alimenta un bus o conductor no debe exceder de 120 % la capacidad de transporte de corriente del bus o conductor. **b)** Todos los interruptores que van a ser alimentados con corriente en ambos sentidos dentro del sistema eléctrico deben estar especificados para operación bidireccional.	

continúa…

…continuación

No.	Referencia	Descripción	Resultado (S o NS)
4	6.6	Interconexión del SFV con la red de distribución se mediante un transformador que garantice el aislamiento galvánico del SFVI, independientemente de la configuración del GFV.	
5	6.1.1	Empleo de dos interruptores de separación en la interfaz con la red (Int 1 e Int 2 véase en la figura 3). La configuración de la figura 3 permite alimentar las cargas locales del inmueble cuando se tiene el SFVI fuera de servicio y permite también la separación completa de la red de distribución.	
6	6.9.6.1	El interruptor de separación a la salida del inversor (Int 1 véase en la figura 3) debe ser un interruptor termomagnético o de fusibles que permita la desconexión del SFV de la red y las cargas locales. La calibración del dispositivo de sobrecorriente se determina en función de la potencia máxima de salida del inversor. Éste debe cubrir las siguientes especificaciones: **a)** Ser manualmente operable. **b)** Contar con un indicador visible de la posición "Abierto - Cerrado". **c)** Contar con la facilidad de ser enclavado mecánicamente en posición abierto por medio de un candado o de un sello de alambre. **d)** Tener la capacidad interruptiva requerida de acuerdo con la capacidad de cortocircuito de la línea de distribución. **e)** Debe ser operable sin exponer al operador con partes vivas. Estar identificado como el interruptor de desconexión entre el SFV y la red.	

continúa…

…continuación

No.	Referencia	Descripción	Resultado (S o NS)
7	6.9.6.2	Interruptor general de servicio del inmueble, Adicionalmente al interruptor de separación a la salida del inversor, la CFE establece la utilización de un interruptor de servicio para la acometida eléctrica en el inmueble (Int 2 véase en la figura 3). Este interruptor propiedad del usuario debe estar accesible al personal de la CFE. Éste debe tener las siguientes características: **a)** Cumplir con las especificaciones establecidas por la CFE. **b)** En este caso, la calibración del dispositivo de sobrecorriente se determina en función de la potencia máxima contratada con la CFE. **c)** Este interruptor opera con flujo de energía en ambos sentidos. Si se selecciona un termomagnético, éste debe estar especificado para operar satisfactoriamente sin importar el sentido de flujo de potencia.	
8	6.10.1	Medios para deshabilitar el GFV. Se debe contar con medios para sacar de operación el GFV, ya sea para realizar labores de mantenimiento o como protección contra fallas en alguno de sus componentes. Sin embargo, se debe considerar que en principio, la única forma de "apagar" un GFV es cubriéndolo de la luz solar. Puesto que esta medida resulta poco práctica y económica en algunas situaciones, es necesario recurrir a algún método alternativo.	
9	6.10.2	Detección de fallas a tierra. Las fallas a tierra en los circuitos del GFV son potencialmente peligrosas debido a que pueden producir arcos eléctricos y como consecuencia incendios. Los GFV son esencialmente fuentes de corriente, capaces de producir arcos eléctricos por tiempo prolongado con corrientes de falla que no fundirían un fusible. Se debe proveer de un sistema de detección de fallas a tierra en instalaciones donde existan riesgos de incendios por localizarse cerca de materiales inflamables, como puede ocurrir en algunas azoteas y techos residenciales. Se puede omitir el uso de un sistema de detección de fallas a tierra cuando todos los componentes que conforman el GFV cuentan con doble aislamiento (clase II) y las instalaciones se han hecho de manera que se minimicen las posibles fallas en el cableado (véase párrafos 9.1 y 9.5).	

continúa…

…continuación

No.	Referencia	Descripción	Resultado (S o NS)
10	7.1	Las conexiones de puesta a tierra del SFVI deben cumplir con lo establecido en el párrafo 9.4 y se deben seguir cuidadosamente. Las condiciones ambientales del sitio de instalación inciden directamente sobre esta conexión.	
11	7.3	Se debe procurar siempre orientar el GFV hacia el sur con una inclinación equivalente a la latitud geográfica del sitio de la instalación, con ello se maximiza la captación del recurso solar a lo largo del año. Se debe considerar que en ningún momento del día los módulos deben estar a la sombra, aunque sea sólo parcialmente	
12	7.4.3	Es necesario probar los diodos de derivación en el GFV cuando se pone en operación por primera vez o su tensión se ha caído muy por debajo de su valor especificado. Generalmente estos diodos se encuentran dentro de las cajas de conexiones de los MFV. Para extraerlos y probar su estado operativo es necesario: **a)** Destapar la caja de conexiones. **b)** Extraer el diodo respetando la marca de su polaridad. **c)** Verificar la conductividad del diodo. Este debe conducir electricidad cuando las conexiones de prueba están conectadas en una dirección y mostrar una alta resistencia en la dirección opuesta. Si un diodo conduce en ambas direcciones está defectuoso. **d)** En caso que el diodo esté defectuoso se debe reemplazar por otro de características similares, respetando la posición de la polaridad original. De ser posible el diodo se debe soldar a los contactos. Finalmente, verifique la tensión de circuito abierto del MFV y cierre la cubierta.	

APÉNDICE B
(Normativo)

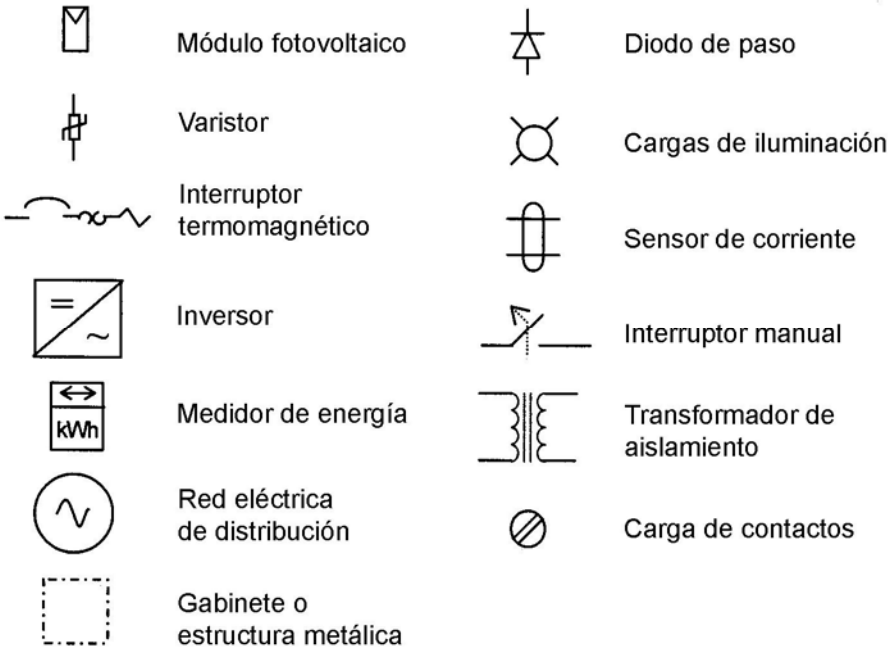
VERIFICACIÓN DE INICIO DE OPERACIÓN A LA INTERCONEXIÓN A LA RED ELECTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW

TABLA B1 – Lista de verificación de inicio de operación

No.	Referencia	Descripción	Resultado (S o NS)
1	6.8.1	Las fluctuaciones en la potencia entregada por el SFVI no deben producir variaciones de tensión fuera de los límites especificados en el párrafo 6.8	
2	6.8.2	El sistema debe operar en sincronía con la red y no causar desviaciones en su frecuencia que sobrepasen los límites expuestos en el inciso 6.8.2	
3	6.8.3	Los SFVI deben cumplir con los límites de distorsión armónica de corriente para equipos que se conectan a la red eléctrica y que se estipulan en la tabla 6.3	
4	6.8.4	La interconexión de SFV con la red de distribución de la CFE no debe causar variaciones de tensión que se encuentren fuera de los límites establecidos en la tabla 3.	
5	6.8.5	El inversor de corriente debe operar con un FP superior a 0,90 inductivo o capacitivo, para potencias de salida superiores al 10 % de su potencia nominal. Para efecto de análisis el SFV se considera como una carga con FP inductivo.	
6	6.9.1.1.	Protecciones contra operación en modo isla	
7	6.9.2	Reconexión con la red. Si el SFV ha sido desconectado de la red a causa de algún disturbio o interrupción en ella, el sistema de protecciones (típicamente autocontenido en los inversores por normatividad) debe mandar la reconexión con la red hasta que la tensión y la frecuencia de esta última se haya restablecido a sus valores normales por un lapso no menor que un minuto.	

APÉNDICE C
(Informativo)

SÍMBOLOS UTILIZADOS EN LOS DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE SFV



APÉNDICE D
(Informativo)

DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS SFVI: ATERRIZADO Y FLOTANTE

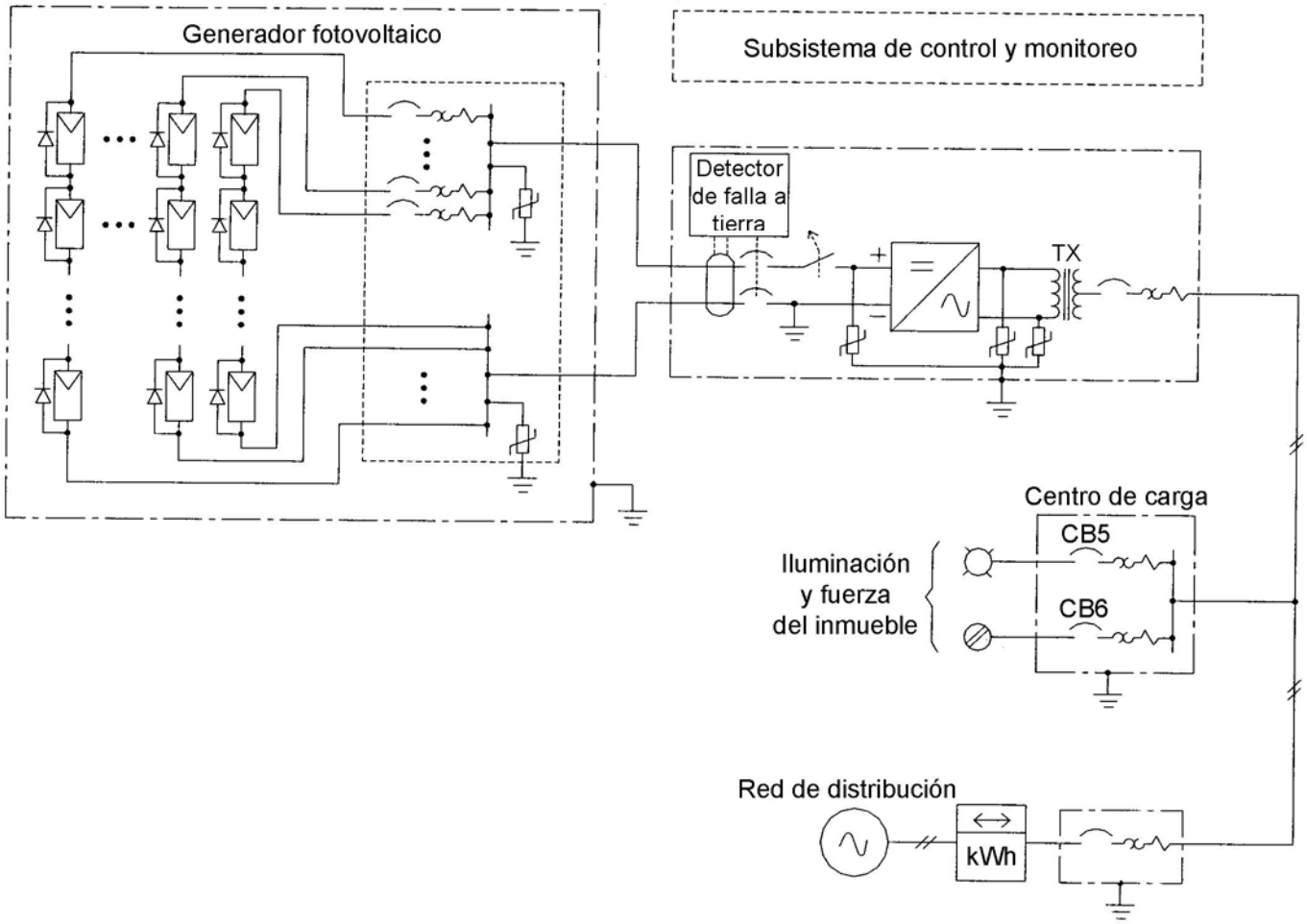


FIGURA D1 - Configuración Eléctrica del GFV Aterrizado responsabilidad del usuario (medidor de kWh y red de distribución de CFE)

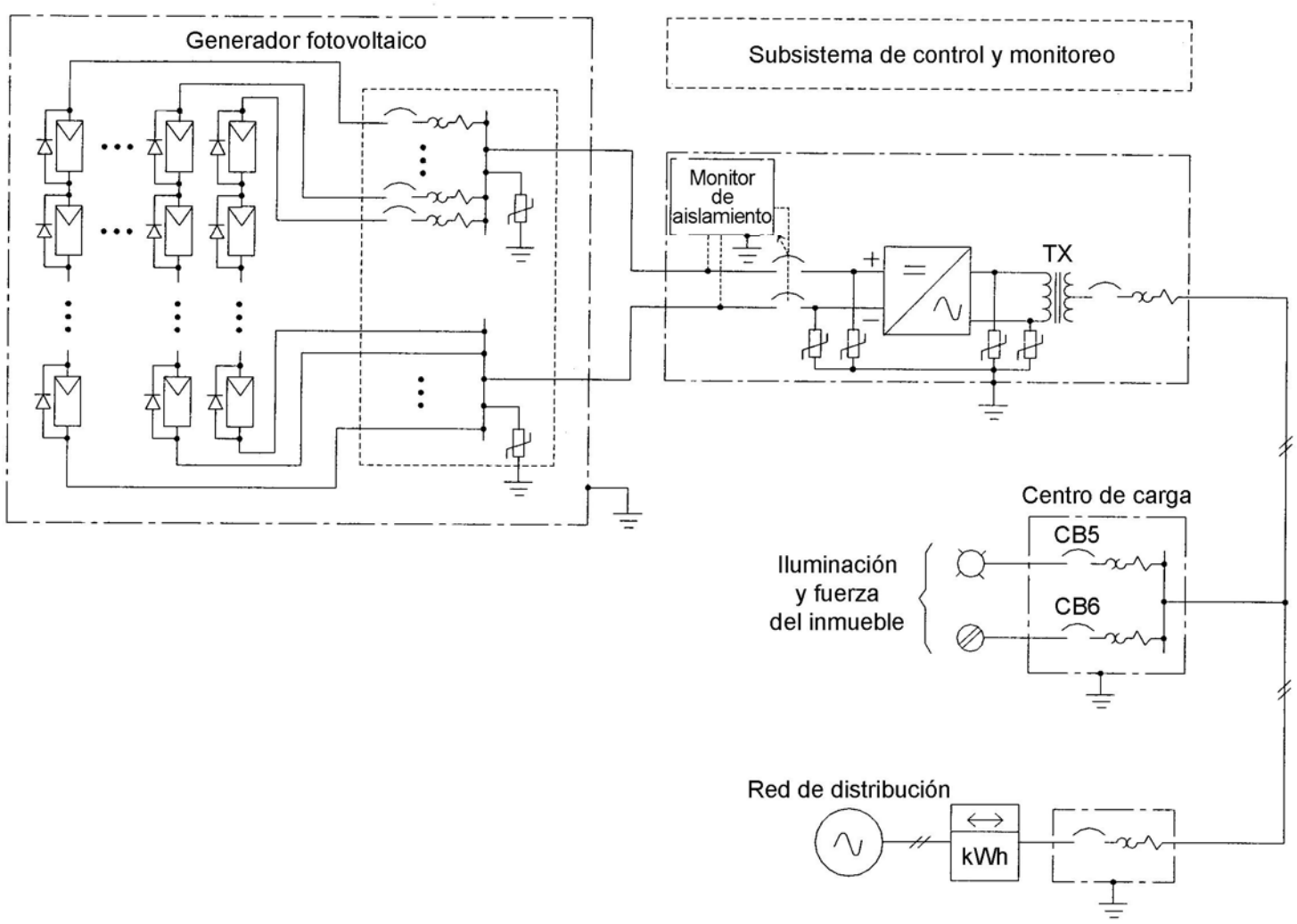


FIGURA D2 - Configuración Eléctrica del GFV Flotante responsabilidad del usuario (medidor de kWh y red de distribución de CFE)

APÉNDICE E
(Informativo)

INFORMACIÓN TÉCNICA

El SFVI debe contar con una placa metálica, localizada en un lugar visible (desde el exterior del inmueble) para el personal de la CFE, que indique las características eléctricas del SFVI:

a) Potencia eléctrica en kWp.

b) Área del GFV en m^2.

c) Configuración eléctrica: GFV flotado o aterrizado.

d) Tensión de interconexión en V c.a.

e) Tipo de SFVI en función de las fases a las que se interconecta: monofásico 3 h, trifásico 4 h, entre otros.

f) Frecuencia de operación: 60 Hz.

g) Cantidad y capacidad de los inversores en kW.

h) Tipo y capacidad del transformador externo (aislamiento galvánico) si es el caso.

Es responsabilidad del usuario del SFVI contar con los manuales técnicos del sistema en su conjunto, así como de cada uno de sus subsistemas (por ejemplo del inversor, MFV, Medios de desconexión, equipo de medición, entre otros), con la finalidad de proveer información adicional al personal de la CFE en caso de ser requerida.