

INFORME SANDIA
SAND96-2797 · UC-120
Distribución Ilimitada
Impreso en Diciembre de 1996

Sistemas de Energía Fotovoltaica y El Código Eléctrico Nacional: Prácticas Recomendadas

The Photovoltaic Systems Assistance Center
Sandia National Laboratories

John Wiles jwiles@nmsu.edu
Southwest Technology Development Institute
New Mexico State University
Las Cruces, New Mexico

Traducido por
CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar)
censolar@censolar.org
www.censolar.org

Editor Técnico, versión en español
Abraham Ellis, aellis@nmsu.edu
Southwest Technology Development Institute
New Mexico State University
Las Cruces, New Mexico

Emitido por Sandia National Laboratories, administrado por Sandia Corporation para el Departamento de Energía de los Estados Unidos, una Compañía Lockheed Martin.

AVISO: Este informe fue redactado como relación del trabajo patrocinado por un organismo del Gobierno de los Estados Unidos. Ni el Gobierno de los Estados Unidos, ni ninguno de sus organismos o su personal, ni ninguno de sus contratistas, subcontratistas o su personal, ofrece ninguna garantía expresa o implícita, ni asume ninguna responsabilidad u obligación legal con respecto a la exactitud, integridad o utilidad de toda información, aparato, producto o proceso divulgado, ni manifiesta que su uso no violaría derechos de propiedad privada. Las referencias que se hacen en este informe con respecto a cualquier producto comercial, producto o servicio específico indicando el nombre comercial, la marca de fábrica, el fabricante, o en otra forma, no constituye ni implica necesariamente su aprobación, recomendación o preferencia por parte del Gobierno de los Estados Unidos, ni ninguno de sus organismos, ni ninguno de sus contratistas o subcontratistas. Las opiniones expresadas en este informe no reflejan ni afirman las del Gobierno de los Estados Unidos, ninguno de sus organismos y ninguno de sus contratistas o subcontratistas.

Impreso en los Estados Unidos de América. Este informe ha sido reproducido directamente de la mejor copia disponible.

Disponible para DOE y contratistas DOE en
Office of Scientific and Technical Information
PO Box 62
Oak Ridge, TN 37831

Precios disponibles en (615) 576-8401, FTS 626-8401

Disponible al público en
National Technical Information Service
US Department of Commerce
5285 Port Royal Rd
Springfield, VA 22161

Códigos de precio NTI
Ejemplar impreso: A05
Copia en microficha: A01

**SAND96-2797
Distribución Ilimitada
Impreso en Diciembre de 1996**

**SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
Y
EL CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL:
PRÁCTICAS RECOMENDADAS**

Una publicación de

**The Photovoltaic Systems Assistance Center
Sandia National Laboratories**

por

**John Wiles
Southwest Technology Development Institute
New Mexico State University
Las Cruces, NM**

RESUMEN

Este manual facilita información de cómo se aplica el *Código Eléctrico Nacional* (NEC) a los sistemas fotovoltaicos. La intención de este manual no es suplantar o sustituir al *NEC*; cita literalmente el *NEC* en lo concerniente a los sistemas fotovoltaicos y debería usarse con el texto completo del *NEC*. Los usuarios de este manual deberían estar muy familiarizados con el *NEC* y conocer los principios de ingeniería y peligros asociados con los sistemas de energía eléctrica y fotovoltaica. La información que se halla en este manual es la mejor disponible en el momento de su publicación y se cree que es técnicamente precisa; se actualizará con frecuencia. La aplicación de esta información y los resultados obtenidos son responsabilidad del usuario.

Código Eléctrico Nacional® y *NEC*® son marcas registradas de la Asociación Nacional contra Incendios, Inc., Quincy, Massachusetts 002269

AGRADECIMIENTOS

Muchas personas de la industria fotovoltaica han revisado los borradores de este manual y aportado comentarios que se incluyen en esta versión. Agradecimientos especiales a Joel Davidson, de Solec International, Inc; Mike McGoey y Tim Ball, de Applied Power Corp.; George Peroni, de Hydrocap; Bob Nicholson, de Glasstech Solar; Mark Ralph y Ward Bower, de Sandia National Laboratories; Steve Willey, de Backwoods Solar; Tom Lundtveit, de Underwriters Laboratories; y a todos aquellos que hayan aportado información valiosa en los seminarios sobre el tema. El Apéndice E está dedicado a John Stevens y Mike Thomas, de Sandia National Laboratories. La edición y diseño del documento estuvo a cargo de Ronald Donaghe, de Southwest Technology Development Institute. El Centro de Estudios Superiores de Energía Solar, España (www.censolar.org) realizó la traducción al español. La edición de la versión en español estuvo a cargo de Abraham Ellis y Alma Cota de Southwest Technology Development Institute.

COMENTARIOS TÉCNICOS A:

John C. Wiles
SWTDI / NMSU
P.O. Box 3001 / Dept. 3 SOLAR
1505 Payne Street
Las Cruces, New Mexico 88003-0001

Solicitud de ejemplares a Photovoltaic Systems Assistance Center
505-844-4383

FINALIDAD

El *Código Eléctrico Nacional*, incluido el *Código Eléctrico Nacional* de 1996, se publica y actualiza cada tres años por la Asociación Nacional Contra Incendios (NFPA), Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269. El *Código Eléctrico Nacional* y el término *NEC* son marcas registradas de la Asociación Nacional Contra Incendios y no se pueden usar sin su permiso. Se pueden conseguir ejemplares del *Código Eléctrico Nacional* de 1996 de la NFPA en la dirección indicada anteriormente, en la mayoría de los distribuidores de material eléctrico y en muchas librerías.

En muchos lugares, todo el cableado eléctrico, incluyendo los sistemas de energía fotovoltaica, debe realizarse por un electricista autorizado y debe ser inspeccionado por una autoridad local competente. Algunos municipios tienen códigos más estrictos que complementan o sustituyen al *NEC*. El inspector local tiene la última palabra acerca de lo que es aceptable. En algunas áreas no es necesario el cumplimiento de códigos.

TABLA DE CONTENIDOS

Sección	Página
OBJETIVO	12
MÉTODO	12
INTRODUCCIÓN	12
PRÁCTICAS RECOMENDADAS	14
Alcance y propósito del NEC.....	14
ESTA GUÍA	15
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	15
Etiquetado del Módulo.....	16
Interconexiones del Módulo	17
Módulos de Seguimiento	18
Terminales.....	18
Cableado de Enlace	20
EL CABLEADO	22
Conectores del Módulo	22
Acceso a la Conexión del Módulo	22
Uniones.....	22
Códigos de Color en Conductores	24
Cables de la Batería	25
PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA Y DESCONEXIÓN DEL CAMPO FV	25
Fallas a tierra.....	25
Desconexión del campo FV	26
PUESTA A TIERRA	27
Puesta a Tierra—Sistema	27
Tamaño del Conductor del Electrodo de Tierra	27
Punto de Conexión	27
Situaciones Poco Comunes en la Puesta a Tierra.....	29
Reguladores de Carga – Puesta a Tierra.....	29

Puesta a Tierra – Equipos	30
Puesta a Tierra del Equipo para Inversores no Homologados.....	30
Salidas Alternas del Inversor	30
Generadores de Apoyo	31
Puesta a Tierra Recomendada en Alterna	31
Electrodo de Tierra	31
AMPACIDAD DE LOS CONDUCTORES	33
Sistemas Aislados - Inversores	34
PROTECCIÓN CONTRA SOBREINTENSIDADES	35
Capacidad	35
Ensayo y Aprobación	36
Circuitos Ramales	38
Poder de Corte (PC) – Condiciones de Cortocircuito	41
Fusibles de los Circuitos Fuente	42
Fusibles Limitadores de Corriente – Sistemas aislados	42
Fusibles Limitadores de Corriente – Sistemas Conectados a la Red	43
Mantenimiento de los Fusibles	43
MEDIOS DE DESCONEXIÓN	43
Desconectores del Campo Fotovoltaico	44
Desconectores del Equipo	44
Desconexión de la Batería	44
Desconexión del Regulador de Carga	46
Sistemas Sin Puesta a Tierra	47
Varias Fuentes de Potencia	47
CUADROS, ARMARIOS Y CAJAS	48
BATERÍAS	48
Gas Hidrógeno	48
Salas y Contenedores de Baterías	49
Electrolito Ácido o Cáustico	49
Descarga Eléctrica	50
GENERADORES	50

REGULADORES DE CARGA	51
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	52
Cableado Interior y Tomas de Corriente.....	56
Detectores de Humo	57
Dispositivos de Interrupción de Falla a Tierra.....	57
Interruptores Interiores	57
Cableado Múltiple de los Circuitos Ramales	58
ETIQUETAS Y AVISOS DEL SISTEMA.....	60
Fuente de Potencia Fotovoltaica	60
Sistemas de Potencia Múltiple	60
Interruptores o Cortacircuitos.....	60
General.....	60
INSPECCIONES	61
SEGURO.....	61
APÉNDICE A	62
Proveedores de Equipos que Cumplen los Requisitos del <i>Código Eléctrico Nacional</i> ®.....	62
CONDUCTORES	62
MATERIAL DIVERSO.....	63
FUSIBLES PARA CONTINUA	63
Portafusibles (Véase también Desconectores con Fusibles)	65
Desconectores con Fusibles (Véase también Cortacircuitos).....	65
CORTACIRCUITOS.....	66
ARMARIOS Y CAJAS DE CONEXIONES	67
HIDROCAPS.....	68
VARISTORES.....	68

APÉNDICE B	1
Introducción	1
Áreas Discutidas	1
Estándares <i>UL</i>	2
Requisitos del <i>NEC</i>	3
¿Redundancia y Conservadurismo o No?	3
APÉNDICE C	1
Sistemas Conectados a la Red	1
Inversores.....	1
Fuente FV - Conductores del Circuito.....	1
Limitadores de Corriente	1
Desconectores	2
Diodos de Bloqueo.....	2
Eliminación de Sobretensiones	2
APÉNDICE D	1
Capacidad de los Cables y de los Dispositivos a Tensiones Elevadas.....	1
Capacidad de los Equipos	1
Limitación del <i>NEC</i>	4
SOLUCIONES	4
A Corto Plazo	4
APÉNDICE E	1
Ejemplos de Sistemas.....	1
DIMENSIONADO DEL CABLEADO Y PROTECCIÓN CONTRA SOBREENTENSIDADES	1
EJEMPLO 1 Sistema Directo de Bombeo de Agua	3
Descripción.....	3
Cálculos.....	4
EJEMPLO 2 Sistema de Bombeo de Agua con Elevador de Corriente	4
Descripción.....	4
Cálculos.....	5
EJEMPLO 3 Sistema Autónomo de Iluminación	6
Descripción.....	6
Cálculos.....	7

EJEMPLO 4 Sistema DC en una Cabaña Aislada	8
Descripción.....	8
Cálculos.....	9
EJEMPLO 5 Sistema Residencial Autónomo de Pequeño Tamaño	10
Descripción.....	10
Cálculos.....	11
EJEMPLO 6 Sistema Residencial Híbrido de Medio Tamaño.....	13
Descripción.....	13
Cálculos.....	14
Inversor.....	15
Generador	15
Puesta a Tierra.....	16
Capacidad de Tensión DC	16
EJEMPLO 7 Sistema Conectado a la Red en lo Alto del Tejado	16
Descripción.....	16
Cálculos.....	17
EJEMPLO 8 Sistema Conectado a la Red con Módulos Integrados en el Tejado.....	18
Descripción.....	18
Cálculos.....	19

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
FIGURA 1.	PRENSAESTOPAS	16
FIGURA 2.	ETIQUETA EN UN MÓDULO FV TÍPICO	17
FIGURA 3.	GRIMPADORAS	19
FIGURA 4.	TERMINALES AISLADOS Y SIN AISLAR	20
FIGURA 5.	CAJA DE CONEXIONES ESTANCA HOMOLOGADA CON TIRA DE TERMINALES HOMOLOGADA.....	21
FIGURA 6.	MÉTODOS DE INTERCONEXIÓN DE LOS MÓDULOS.....	23
FIGURA 7.	CONECTORES DE PRESIÓN Y TIRAS DE TERMINALES	24
FIGURA 8.	SISTEMA TÍPICO: SITUACIÓN POSIBLE DEL CONDUCTOR DE TIERRA.....	28
FIGURA 9.	EJEMPLO DE SISTEMA DE ELECTRODO DE TIERRA	32
FIGURA 10.	PROTECCIÓN TÍPICA DE LOS CONDUCTORES DEL CAMPO CONTRA SOBREENTENSIDADES (CON DESCONECTADORES OPCIONALES PARA LOS SUBCAMPOS)	37
FIGURA 11.	CORTACIRCUITOS HOMOLOGADOS PARA CIRCUITOS RAMALES.....	38
FIGURA 12.	FUSIBLES HOMOLOGADOS SUPLEMENTARIOS Y PARA CIRCUITOS RAMALES	39
FIGURA 13.	FUSIBLES NO ACEPTADOS (A LA IZQUIERDA) Y ACEPTADOS (CUANDO SE ESPECIFICAN PARA DC) (A LA DERECHA).....	40
FIGURA 14.	CORTACIRCUITOS HOMOLOGADOS Y RECONOCIDOS POR <i>UL</i>	41
FIGURA 15.	DESCONECTADORES EN UN SISTEMA PEQUEÑO.....	45
FIGURA 16.	DESCONECTADORES DE LA BATERÍA SEPARADOS	46
FIGURA 17.	DESCONECTADOR DEL REGULADOR DE CARGA	47
FIGURA 18.	DESCONECTADORES PARA FUENTES DE ENERGÍA ALEJADAS	51
FIGURA 19.	REGULADOR DE CARGA TÍPICO	52
FIGURA 20.	CENTRO DE CARGA DE 12 V DC.....	54
FIGURA 21.	CENTRO DE CARGA Y CAJA DE CONEXIÓN DE 12 V DC.....	55
FIGURA 22.	CONFIGURACIONES DE ENCHUFE.....	56
FIGURA 23.	DIAGRAMA DE UN CIRCUITO RAMAL CON CABLEADO MÚLTIPLE	59
FIGURA D-1.	TÍPICO SISTEMA BIPOLAR CON FALLA	D-3
FIGURA E-1.	SISTEMA CONECTADO DIRECTAMENTE	E-3
FIGURA E-2.	SISTEMA FV CONECTADO DIRECTAMENTE CON ELEVADOR DE CORRIENTE	E-5
FIGURA E-3.	SISTEMA AUTÓNOMO DE ILUMINACIÓN.....	E-7
FIGURA E-4.	SISTEMA SÓLO DC EN CABAÑA AISLADA	E-9
FIGURA E-5.	PEQUEÑO SISTEMA RESIDENCIAL AUTÓNOMO	E-11
FIGURA E-6.	SISTEMA RESIDENCIAL HÍBRIDO DE TAMAÑO MEDIO	E-14
FIGURA E-7.	SISTEMA CONECTADO A LA RED EN EL TEJADO	E-17
FIGURA E-8.	SISTEMA FV CON MÓDULOS INTEGRADOS EN EL TEJADO.....	E-19

ARTÍCULOS APLICABLES DEL *CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL*

Aunque son muchas las partes del *Código Eléctrico Nacional* que se aplican a los sistemas de energía fotovoltaica, se nombran a continuación las más significativas.

Artículo	Contenidos
90	Introducción
100	Definiciones
110	Requisitos
200	Conductores Puestos a Tierra
210	Circuitos Ramales
240	Protección Contra Sobreintensidades
250	Puesta a Tierra
300	Métodos de Cableado
310	Conductores
331	Conductos Eléctricos No Metálicos
336	Cable Aislado No Metálico
338	Cable de Entrada del Servicio
339	Tramos Bajo Suelo
348	Conductos Eléctricos Metálicos
374	Canales Auxiliares
384	Cuadros de Interruptores y Paneles de Control
445	Generadores
480	Baterías de Almacenamiento
690	Sistemas FV
705	Fuentes Interconectadas de Producción de Energía Eléctrica
710	Equipos de Más de 600 V Nominales, General
720	Sistemas de Baja Tensión

**SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
Y
EL CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL
PRÁCTICAS RECOMENDADAS**

OBJETIVO

- SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DURADEROS, FIABLES Y SEGUROS
- FABRICANTES, DISTRIBUIDORES, INSTALADORES, USUARIOS E INSPECTORES INFORMADOS

MÉTODO

- AMPLIA DIFUSIÓN DE ESTAS RECOMENDACIONES
- INTERCAMBIO TÉCNICO ENTRE GRUPOS INTERESADOS

INTRODUCCIÓN

La Asociación Nacional Contra Incendios ha respaldado al Código Eléctrico Nacional (NEC) desde 1911. El documento original del Código se desarrolló en 1897. Con unas pocas excepciones, los sistemas de energía eléctrica instalados en Estados Unidos durante este siglo han tenido que acatar el NEC. Esto incluye a muchos sistemas de energía fotovoltaica (FV). En 1984 se añadió al Código el artículo 690, que fijaba las normas de seguridad para instalaciones de sistemas FV. Este artículo ha sido revisado y ampliado en las ediciones de 1987, 1990, 1993 y 1996.

Muchos de los sistemas FV actualmente en uso o en fase de instalación, no cumplen con el *NEC* y otros códigos locales. Esta situación se debe a varios factores:

- La industria FV tiene una gran componente de *hágalo-usted-mismo*, que no tiene cuidado alguno con los peligros asociados con los sistemas de energía FV de baja tensión y corriente continua.
- Algunas personas de la comunidad FV piensan que los sistemas FV por debajo de 50 voltios no se ven afectados por el NEC.
- Los inspectores eléctricos no han obtenido la experiencia necesaria en los temas de corriente continua incluidos en el Código, o en sistemas FV.
- Las industrias de equipamiento eléctrico no anuncian o distribuyen de forma amplia material apropiado para su uso con corriente continua que cumpla las especificaciones del NEC.

- Las publicaciones populares muestran información al público que da a entender que los sistemas FV son fácilmente instalados, modificados y mantenidos por personal no experimentado.
- Los fabricantes de equipamiento fotovoltaico, en general no han podido permitirse los costes asociados con las pruebas y homologaciones de laboratorios de pruebas certificados como Underwriters Laboratories o ETL.
- En muchos casos, los instaladores y distribuidores fotovoltaicos no han obtenido la experiencia necesaria en la instalación de sistemas residenciales y/o comerciales de energía basados en corriente continua.

No todos los sistemas son inseguros. Algunos instaladores FV en Estados Unidos tienen licencia o trabajan con contratistas eléctricos con licencia y están familiarizados con todas las secciones del NEC. Estos instaladores / contratistas están instalando sistemas FV fiables que cumplen el Código Eléctrico Nacional y minimizan los riesgos asociados con los sistemas de energía eléctrica. Sin embargo, muchas instalaciones FV tienen numerosos fallas y no cumplen el Código de 1996. Algunos de los problemas más destacables se citan a continuación.

- Ampacidad inadecuada de conductores
- Aislamiento inadecuado de conductores
- Métodos inseguros de cableado
- Falta de protección contra sobretensiones en muchos conductores
- Número y situación inadecuados de interruptores
- Aplicación inadecuada de equipo homologado
- Falta de protección contra corriente de cortocircuito en el sistema de baterías
- Empleo de componentes no aprobados cuando se dispone de componentes aprobados
- Sistema de puesta a tierra inadecuado
- Falta de puesta a tierra de los equipos
- Empleo inseguro de las baterías
- Empleo de componentes de alterna (fusibles e interruptores) en aplicaciones de continua

El Código se aplica a cualquier sistema FV, independientemente de su tamaño y ubicación. Un único módulo FV no supondrá un riesgo y un pequeño sistema en un lugar remoto presentará pocos riesgos de seguridad porque el lugar es poco concurrido. Por el contrario, dos o tres módulos conectados a una batería puede resultar letal si no se instala y opera de forma apropiada. Una sola batería de ciclo profundo (6 voltios, 220 amperios-hora) puede descargar alrededor de 8000 amperios en un cortocircuito. Los sistemas con tensiones de 50 voltios, o superiores, presentan riesgos de sacudidas. Los cortocircuitos en sistemas de baja tensión suponen riesgo de incendios y problemas con los equipos. Las baterías de almacenamiento pueden resultar peligrosas; el hidrógeno y residuo ácido de las baterías de plomo-ácido deben tratarse con seguridad.

Los problemas se agravan porque, a diferencia de los sistemas de alterna, hay pocos componentes homologados que pueden “enchufarse” juntos fácilmente para hacer un sistema fotovoltaico. Los conectores y dispositivos no tienen entradas o salidas acopladas y al instalador no le resulta fácil saber o comprender “qué va con qué”. El “libro de recetas” de continua aún no existe.

Para alcanzar el objetivo de sistemas de energía fotovoltaica seguros, duraderos y fiables, se dan las siguientes recomendaciones:

- Que los distribuidores-instaladores de sistemas FV se familiaricen con los métodos de cableado del NEC, relativos a sistemas de energía en instalaciones residenciales y comerciales en corriente alterna.
- Que la autoridad local inspeccione, donde se precise, todas las instalaciones FV de la misma forma que otros sistemas eléctricos equivalentes.
- Que los fabricantes de equipo fotovoltaico produzcan sus productos según UL u otros estándares reconocidos y los tengan probados y homologados cuando sean de aplicación práctica.
- Que se usen subcomponentes homologados o reconocidos en equipos montados donde la prueba y homologación formales no sea posible.
- Que los fabricantes de equipamiento eléctrico produzcan, distribuyan y anuncien componentes de continua, homologados y a precio razonable.
- Que los inspectores eléctricos se familiaricen con los sistemas de continua y FV.
- Que la industria FV eduque al público, modifique la publicidad y anime a todos los instaladores a acatar el NEC.
- Que todas las personas que instalen sistemas fotovoltaicos obtengan y estudien el actual Código Eléctrico Nacional.
- Que las instalaciones FV existentes se revisen para que cumplan con el NEC, o se modifiquen para reunir las condiciones mínimas de seguridad.

PRÁCTICAS RECOMENDADAS

Alcance y propósito del NEC

Algunas autoridades locales de inspección utilizan códigos eléctricos regionales, pero la mayoría de las jurisdicciones utilizan el Código Eléctrico Nacional –con ligeras modificaciones, algunas veces. El *NEC* sostiene que seguir las recomendaciones hechas reducirá los riesgos asociados con instalaciones eléctricas. El *NEC* también dice que estas recomendaciones pueden no suponer mejoras en la eficiencia, conveniencia o adecuación para un buen servicio o futura expansión del uso eléctrico [90-1]. (Los números entre corchetes se refieren a secciones del NEC).

El Código Eléctrico Nacional se aplica a casi todas las instalaciones de energía fotovoltaica, incluso a aquellas con tensiones inferiores a 50 voltios. Abarca sistemas aislados y conectados a la red. Abarca carteles luminosos, otras aplicaciones remotas, edificaciones flotantes y vehículos recreativos (RV) [90-2(a), 690, 720]. El Código trata cualquier sistema fotovoltaico que produzca energía y tenga cableado externo o componentes eléctricos o contactos accesibles a personas sin experiencia y no calificadas.

Hay algunas excepciones. El Código Eléctrico Nacional no abarca las instalaciones en automóviles, vehículos sobre vías y barcos, ni en propiedades de compañías de electricidad usadas para generar energía [90-2(b)]. Tampoco abarca sistemas de micropotencia utilizados en relojes, calculadoras o equipos electrónicos que no tengan cables o contactos eléctricos externos.

El artículo 690 del *NEC* se refiere específicamente a sistemas FV, pero otras muchas secciones del *NEC* contienen requisitos para cualquier sistema eléctrico que incluya sistemas FV [90-2, 720]. Cuando haya un conflicto entre el Artículo 690 del *NEC* y cualquier otro, el artículo 690 prevalece [690-3].

El *NEC* recomienda, y la mayoría de los inspectores requieren, que se utilice cuando esté disponible, equipamiento identificado, homologado, etiquetado o probado por un laboratorio de ensayo certificado [90-7, 100, 110-3]. Tres de las organizaciones nacionales de ensayo son *Underwriters Laboratories (UL)*, *Factory Mutual Research (FM)* y *ETL Testing Laboratories, Inc.* *Underwriters Laboratories* y *UL* son marcas registradas de *Underwriters Laboratories Inc.*, 333 Pfinngen Road, Northbrook, IL 60062.

La mayoría de los inspectores de vivienda y eléctricos esperan ver *UL* en los productos eléctricos utilizados en sistemas eléctricos de Estados Unidos. Esto supone un problema para parte de la industria FV porque las tasas bajas de producción aún no justifican los costes de ensayo y homologación por *UL* u otro laboratorio. Algunos fabricantes declaran que las especificaciones de sus productos superan a las exigidas por los laboratorios de ensayo, pero los inspectores admiten, literalmente, no tener la habilidad, el tiempo o los recursos para validar estos artículos no etiquetados.

ESTA GUÍA

Las prácticas recomendadas contenidas en esta guía, van desde los módulos fotovoltaicos hasta las tomas eléctricas. Para cada componente, se mencionan los requisitos del *NEC* y las correspondientes secciones del Código se refieren entre corchetes. Una oración, frase o párrafo seguidos de una referencia al *NEC*, hace alusión a un requisito del Código. La utilización de formas verbales que expresen deber u obligación también hacen referencia a los requisitos del *NEC*. Las recomendaciones basadas en experiencias prácticas con sistemas FV, figuran como tales y se utilizarán formas verbales que expresen sugerencia. Se señala la disponibilidad de componentes aprobados y se discuten alternativas.

En el Apéndice A figura una lista de productos especificados para corriente continua, identificados, homologados o aprobados y se hace una referencia a los mismos, al tiempo que se comentan.

En otros apéndices se indican detalles y asuntos asociados con la aplicación del *NEC* en instalaciones FV. Se incluyen ejemplos.

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

En la actualidad hay cinco fabricantes que ofrecen módulos homologados: ASE Americas, Photocomm Solavolt, Siemens, Solarex y Tideland Signal Corp. Otros fabricantes están considerando la idea de homologar sus módulos FV por un laboratorio nacional de ensayo.

Los métodos de conectar el cableado a los módulos, varía según el fabricante. El *NEC* no exige el cableado bajo tubo; pero jurisdicciones locales, concretamente en instalaciones comerciales pueden exigirlo. El Código exige que se dispongan prensaestopas para conectar los cables. Si el módulo tiene una caja de conexiones

cerrada y protegida de la intemperie, deberían usarse prensaestopas y abrazaderas resistentes a la humedad en todos los huecos dispuestos para el cableado. Si las juntas resistentes a la intemperie forman parte de la caja de conexiones, deben seguirse las instrucciones del fabricante para asegurar el adecuado prensado y aislamiento [110-3(b), *UL Standard 1703*]. En la figura 1 se muestran varios tipos de prensaestopas. El de la izquierda es una sencilla abrazadera para uso en interiores con cable aislado no metálico (Romex). Las abrazaderas del centro (T&B) y de la derecha son resistentes al agua y se pueden usar con cable de uno o más conductores –según el orificio. El conjunto de plástico de la derecha está fabricado por Heyco (Apéndice A).

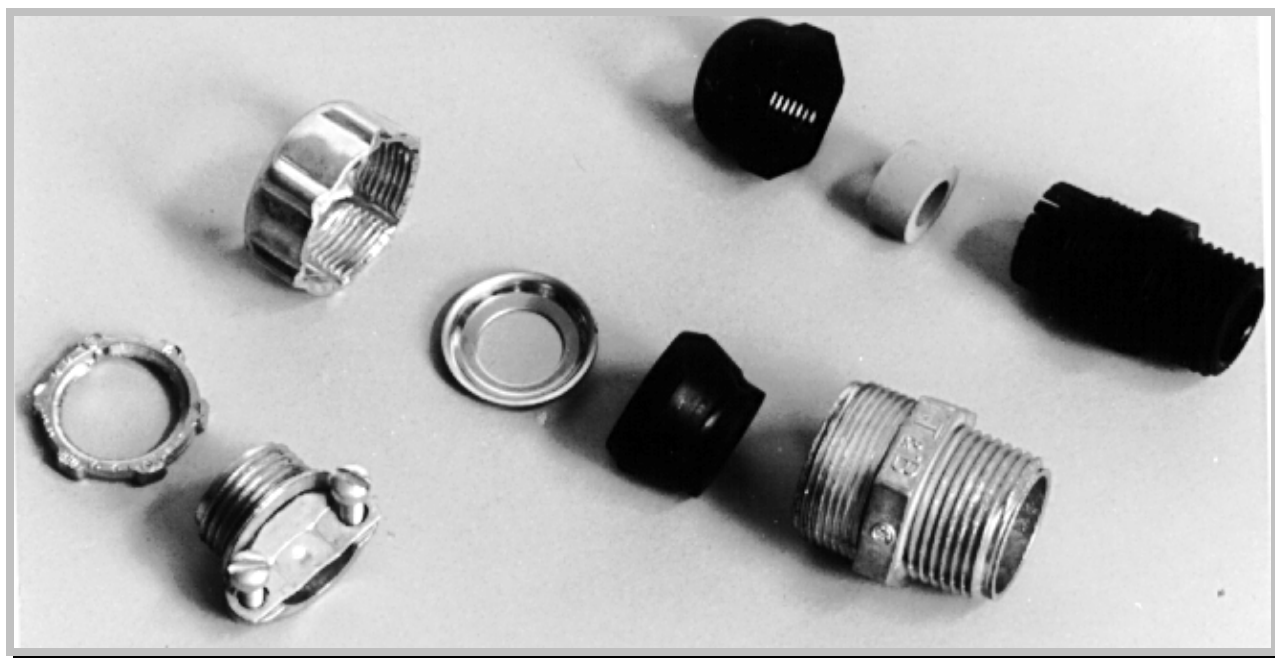


Figura 1. Prensaestopas

Etiquetado del Módulo

En los módulos **debe** aparecer cierta información eléctrica. Si los módulos no vienen etiquetados de fábrica (exigido por la agencia homologadora –*UL*), entonces deberían etiquetarse *in situ* para facilitar la inspección y permitir que el inspector determine la ampacidad requerida por los conductores y las especificaciones de los limitadores de corriente. Ver también [690-52]. La información facilitada por el fabricante **incluirá** los siguientes aspectos:

- Polaridad de los terminales o bornes de salida
- Poder de corte del dispositivo de sobrecorriente para la protección del módulo
- Tensión a circuito abierto
- Tensión de funcionamiento
- Corriente de funcionamiento
- Corriente de cortocircuito
- Potencia máxima
- Tensión máxima permitida en el sistema [690-51]

Aunque no se exige en el NEC, debe conocerse la temperatura soportada por el módulo para determinar la temperatura que debe soportar el aislamiento de los conductores y

cómo disminuye la ampacidad de los mismos por causa de ésta [110-14(c)]. La figura 2 muestra una etiqueta típica situada en la parte posterior de un módulo.

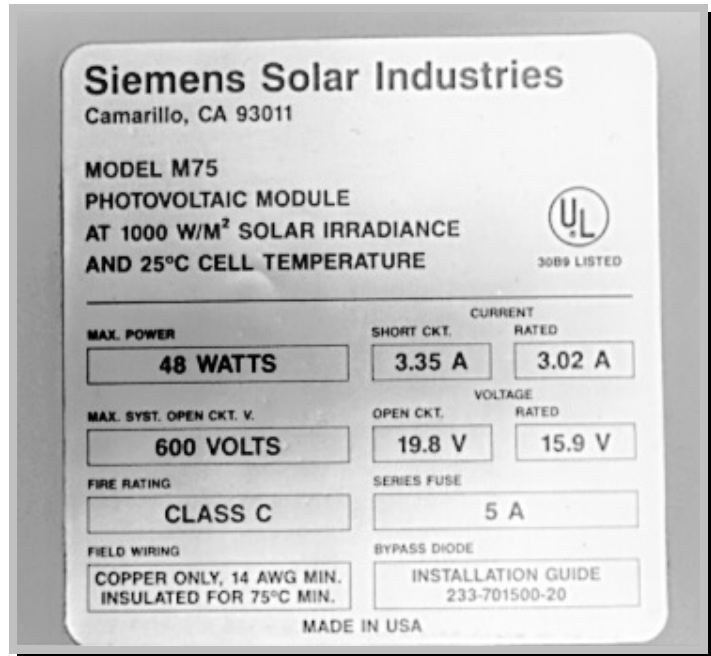


Figura 2. Etiqueta en un Módulo FV Típico

Interconexiones del Módulo

Se recomienda conductores de cobre para casi todo el cableado del sistema fotovoltaico [110-5]. Los conductores de cobre presentan menores caídas de tensión y máxima resistencia a la corrosión. En ciertas aplicaciones pueden usarse conductores de aluminio o de cobre revestidos de aluminio, pero no se recomienda su uso –sobre todo en viviendas particulares. Todos los tamaños de cables que aparecen en esta guía se refieren a conductores de cobre.

El *NEC* exige que se utilicen conductores de calibre 12 American Wire Gage (AWG) o superior, en los sistemas con tensiones por debajo de 50 voltios [720-4]. Los cálculos de ampacidad derivados del Artículo 690, que den lugar a tamaños más pequeños de conductores, podrían invalidar las consideraciones del Artículo 720, pero algunos inspectores siguen las exigencias del Artículo 720 para los circuitos de continua, y el Código da poca información acerca de tamaños de conductores inferiores a 14 AWG, aunque la sección 690-31d facilita algunos consejos.

Los cables permitidos para la interconexión de módulos [690-31(b)] son: conductor simple, Tipo UF (Ramal Bajo Tierra –Identificado como Resistente a la Luz del sol), Tipo SE (Entrada del Servicio), o tipo USE (Entrada Bajo Tierra del Servicio). Se recomienda el uso de cable con hilos, para facilitar el mantenimiento de los módulos después de la instalación y por durabilidad [690-34]. Desafortunadamente, el cable de conductor simple, con hilos, UF resistente a la luz del sol, no es fácil de conseguir y hay dudas sobre el uso del aislamiento de PVC encontrado en los cables UF, en circuitos de continua y en presencia de humedad [310-13 FPN]. La mayoría de los cables UF tienen aislamiento especificado para 60°C. Este aislamiento no es adecuado para largas exposiciones a la luz directa del sol y a temperaturas como las que se dan en los tejados,

cerca de los módulos FV. Estos cables muestran signos de deterioro al cabo de cuatro años de exposición. Debe evitarse la utilización de conductores con aislamiento de 60°C cuando haya temperaturas superiores en las proximidades de los módulos.

El cable de Entrada Bajo Tierra del Servicio (USE), ampliamente disponible, se recomienda como el mejor para las interconexiones del módulo. Cuando se fabrica según el estándar *UL*, tiene una especificación de 90°C y es resistente a la luz del sol, aunque, generalmente, no se señala como tal. Otras marcas indicando XLP o XLPE (polietileno enlazado) y RHW-2 (aislamiento de 90°C en condiciones de humedad) aseguran que se usa el cable de mayor calidad [Tablas 3109-13,16, y 17]. El cable USE es aceptado por la mayoría de los inspectores. Las designaciones RHH y RHH-2 encontradas frecuentemente en el cable USE-2, permiten su uso bajo tubo en el interior de edificios. El cable USE, sin las otras marcas, no tiene los componentes ignífugos que tiene el cable SE y no se puede usar en el interior de edificios.

Cuando se conecten los módulos en paralelo, habrá que ajustar correctamente la ampacidad de los conductores. La ampacidad en cualquier punto, corregida por la temperatura, debe ser al menos el 125% de la corriente de cortocircuito del módulo (o serie de módulos en paralelo) en ese punto [690-8(a), (b)(1)]. Si se necesita cable flexible de dos conductores, se puede usar cable de bandeja (Tipo TC), pero hay que sostenerlo de una forma determinada, tal y como se indica en el *NEC* [318 y 340]. El cable TC es resistente a la luz del sol y suele señalarse como tal. Aunque se usan frecuentemente para las interconexiones de los módulos, los tipos de cable SO, SOJ y otros flexibles similares pueden no ser resistentes a la luz del sol y no están aprobados para su uso en instalaciones fijas (no portátiles) [400-7,8]. Estos cables pueden usarse para conectar módulos de seguimiento, y la marca “WA” o los cables de servicio pesado SEO, indica que tienen alguna resistencia a la luz del sol y están homologados para su uso en el exterior. El *NEC* de 1996 facilita datos que permiten calcular la adecuada disminución de ampacidad en estos cables flexibles, debida a las altas temperaturas presentes cerca de los módulos [Tabla 690-31(c)]. No se ha probado el uso bajo tubo de los cables SEO, SO y otros flexibles.

Módulos de Seguimiento

El *NEC* permite el uso del Artículo 400, cables flexibles [400-7(a), 690-31(c)], donde haya partes móviles en el campo FV, como sistemas de seguimiento o módulos de concentración. Cuando se use este tipo de cables, hay que seleccionarlos para uso en condiciones extremas y con especificaciones para exteriores [marca “WA” en el cable]. No deberían usarse bajo tubo. En la tabla 690-31c se facilita información acerca de la disminución de la ampacidad debida a la temperatura. Debería usarse un factor de disminución entre 0.33 y 0.58 para cables flexibles usados en interconexiones del módulo.

Otra posibilidad es el uso de cable extra flexible (475 hilos) para edificios, del tipo USE-RHH-RHW. Este cable está disponible en la mayoría de los distribuidores de cableado (Apéndice A).

Terminales

Se recomiendan los terminales grimpados en forma de anillo dentro de la caja de conexiones del módulo para asegurar que todos los hilos del conductor se conectan al terminal de tornillo. Si se usan tornillos de fijación, entonces pueden utilizarse terminales con forma de horquilla, pero no deberían juntarse más de dos en un tornillo.

Las grimpadoras sencillas, diseñadas para grimpar cables más pequeños usados en electrónica, no suelen proporcionar fuerza suficiente para conseguir grimpados de larga

duración en los conectores de instalaciones FV, incluso usando calibre 12-10 AWG. Los terminales aislados, grimpados con estas herramientas sencillas, suelen dar lugar en poco tiempo a conexiones de alta resistencia e incluso pueden fallar a medida que el cable se sale del terminal. Es muy recomendable utilizar para el cableado de sistemas FV únicamente grimpadoras de tipo industrial homologadas. En la figura 3 se muestran cuatro estilos de grimpadoras. La primera de la izquierda es una grimpadora-cortadora utilizada en trabajos de electrónica que sólo puede grimpar terminales aislados. La segunda de la izquierda es una grimpadora-cortadora que puede grimpar terminales aislados o no. El lápiz señala los orificios usados para los terminales no aislados. Teniendo cuidado, esta grimpadora puede usarse en sistemas FV para grimpar terminales no aislados, si los terminales se sueldan después de grimparlos. Las dos grimpadoras de la derecha son diseños homologados y para aplicaciones industriales, con fillos de trinquete y orificios intercambiables que proporcionan las conexiones de mayor calidad. Suelen estar disponibles en los establecimientos de suministros eléctricos.

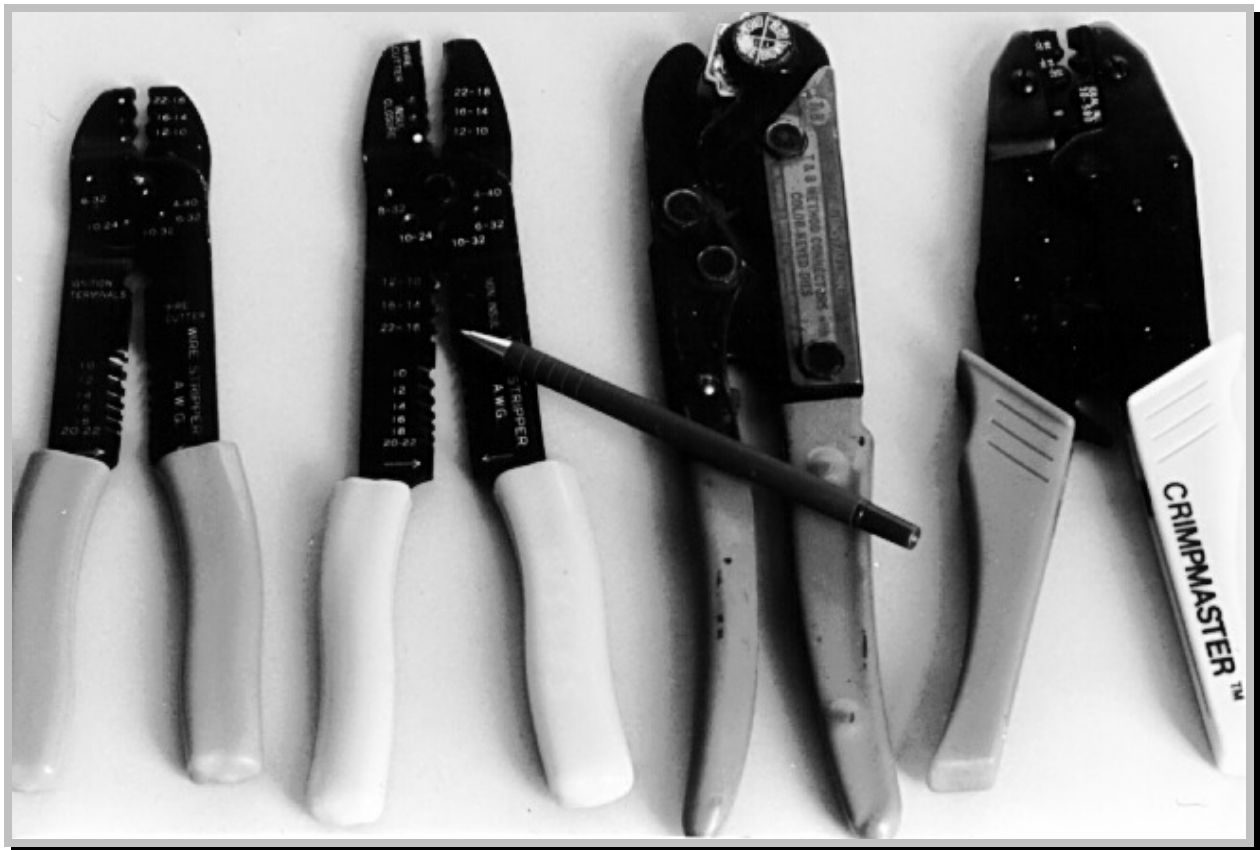


Figura 3. Grimpadoras

La figura 4 muestra algunos ejemplos de terminales aislados y no aislados. Por regla general, se prefiere terminales no aislados (aislándolos más tarde si es necesario), pero hay que procurar obtener los terminales más fiables y homologados *UL* y no los usados en electrónica o automoción. De nuevo, un establecimiento de suministros eléctricos es el sitio adecuado para encontrar estos artículos, mejor que las tiendas de repuestos electrónicos o del automóvil. Aunque requiere tiempo, hay que considerar la técnica de grimpado y soldadura para asegurarse de que las conexiones duran tanto como los módulos. Si la caja de conexiones tiene terminales de presión, no es necesario usar los terminales grimpados y soldados.

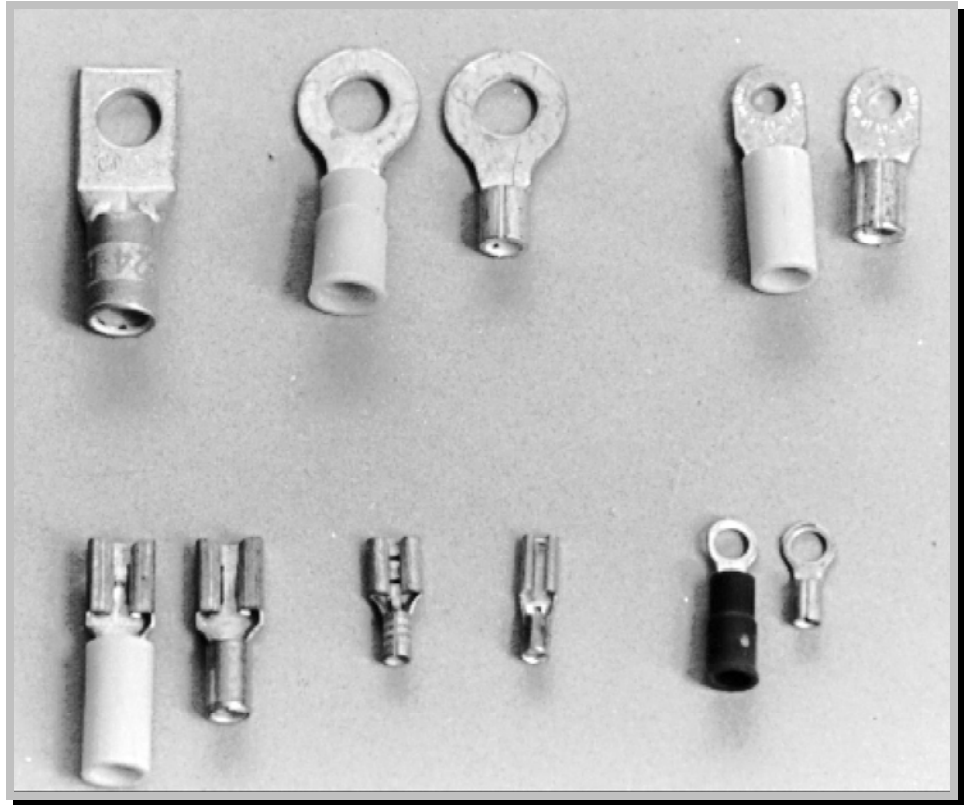


Figura 4. Terminales Aislados y sin Aislar

Cableado de Enlace

Debido a su coste relativamente elevado, los cables USE y TC suelen conectarse a cables más baratos en la primera caja de conexión que conduce a un lugar interior. Todo el cableado del sistema FV debe hacerse usando alguno de los métodos incluidos en el *NEC* [690-31, Capítulo 3]. No se permite el cableado al aire de un solo conductor, excepto para el cableado del módulo o con permiso especial [Capítulo 3]. Los métodos más usuales, empleados en sistemas FV, son los conductores individuales bajo tubo eléctrico metálico (EMT) y no metálico y cable aislado no metálico.

Cuando se emplean conductores bajo tubo, estos deben tener un aislamiento de al menos 90°C, como RHW-2 o XHHW-2. Los tubos instalados en lugares desprotegidos se consideran como si se instalaran en lugares húmedos [100-Locations]. Estos tubos pueden retener agua en puntos bajos y, por tanto, en tubos al aire o enterrados sólo se permiten conductores especificados para lugares húmedos. El tubo puede ser tubo eléctrico metálico (EMT) de pared gruesa o delgada [348], y si es rígido, se usa tubo no metálico, **debiendo** usarse tubo eléctrico (gris) de PVC (Lista 40 o Lista 80), en vez de tubo de fontanería de PVC [347].

El cable UF bipolar (con conductor de tierra) y resistente a la luz del sol, se usa frecuentemente entre el cableado de interconexión del módulo y el dispositivo desconectador del campo FV. El color preferido es el negro, debido a su superior resistencia a la luz ultravioleta, pero el de color gris resulta duradero debido al aislante asociado con la cubierta del cable. Los empalmes de este cable, cuando se hagan en el exterior, **deben** protegerse en una caja de conexiones a prueba de lluvia, como la NEMA

tipo 3R. También hay que usar abrazaderas. La figura 5 muestra una caja a prueba de lluvia con una tira de conectores de presión para los terminales, instalada para las conexiones del cableado del módulo. Los agujeros para los tornillos deberían sellarse con goma de silicona. Las abrazaderas usadas con esta caja deben estar homologadas para su uso en exteriores.

El tendido interior de cable al aire sólo se puede realizar con tipos de cable aislado como NM, NMC y UF. El cable no debería someterse a abusos físicos. Hay que proteger los cables que puedan verse sometidos a abusos físicos [300-4, 336 B, 339]. El cable al aire de un solo conductor (usado normalmente entre las baterías y los inversores) **no** se usará excepto para la interconexión de módulos [300-3(a)].



Figura 5. Caja de Conexiones Estanca Homologada con Tira de Terminales Homologada

EL CABLEADO

Conectores del Módulo

Los conectores del módulo que se ocultan durante la instalación **deben** ser resistentes al ambiente, polarizados y capaces de soportar la corriente de cortocircuito. También **deben** ser de diseño cerrado y con los terminales protegidos. La puesta a tierra de los equipos **debe** ser lo primero en conectarse y lo último en desconectarse, [690-32, 33]. El estándar *UL* también exige que los conectores para los conductores positivo y negativo **no** sean intercambiables.

Acceso a la Conexión del Módulo

Deben ser accesibles todas las cajas de conexiones y demás lugares donde se hagan conexiones del cableado del módulo. Los módulos portátiles y el cableado visible pueden permitir la accesibilidad [690-34]. Los módulos no deberían fijarse (soldarse) permanentemente a la estructura soporte y no debería usarse cableado rígido que pudiera romperse cuando se muevan los módulos para acceder a las cajas de conexiones. Los espacios libres detrás de los módulos permitirían el acceso a las cajas de conexiones.

Uniones

Todas las uniones (aparte de los conectores mencionados anteriormente) deben realizarse en cajas de conexiones aprobadas y con un método de unión aprobado. Los conductores deben retorcerse firmemente para hacer una buena conexión eléctrica y mecánica, después enlazarlos, soldarlos y cubrirlos [110-14(b)]. Aunque la soldadura ofrece una resistividad mayor que el cobre, una unión soldada mediante soldadura protegida con antioxidante presentará una resistencia eléctrica ligeramente inferior y una resistencia a la corrosión potencialmente más elevada que la unión no soldada. También se aceptan dispositivos de unión mecánica tales como conectores de tornillo partido o tiras de terminales. También se pueden usar uniones de conectores grimpados si se utilizan grimpadoras y dispositivos de unión homologados.

Si es necesario una fiabilidad máxima, puede usarse para las uniones la soldadura exotérmica. También ofrecen una alta fiabilidad los conectores de presión bien usados (Figura 7). Hay bloques de fusibles, desconectores e interruptores con estos conectores de presión.

Los conectores de cable retorcido (aprobados para unir cables) no han resultado adecuados cuando se usan en sistemas FV de baja tensión (12-50 voltios) o corriente elevada, debido a la tensión térmica y oxidación de los contactos. Estos elementos no suelen homologarse para ambientes exteriores o en cajas de conexión que pueden estar expuestas a la humedad.

Cuando varios módulos se conecten en serie y en paralelo, **debe** usarse un bloque de terminales o una disposición en bus, de forma que se pueda desconectar un circuito fuente sin desconectar el conductor de tierra (en sistemas con puesta a tierra) de otros circuitos fuente [690-4(c)]. Esto supone que, en sistemas con puesta a tierra, el famoso método de conectar los módulos en “Cadena en Margarita” puede no ser siempre aceptable, ya que quitar un módulo de la cadena implica desconectar el conductor de tierra de todos los demás módulos en otras cadenas en paralelo o circuitos fuente. Esto se vuelve más crítico en sistemas más grandes donde se usan largas series de módulos conectadas en paralelo. La figura 6 muestra el método inaceptable y el aceptable. En

general, los sistemas de 12 y 24 voltios se pueden conectar en cadena de margarita, pero los sistemas de mayor tensión, no.

En la figura 7 se muestran diferentes tipos de bloques y tiras de terminales. Los bloques más grandes están fabricados por Marathon (Apéndice A).

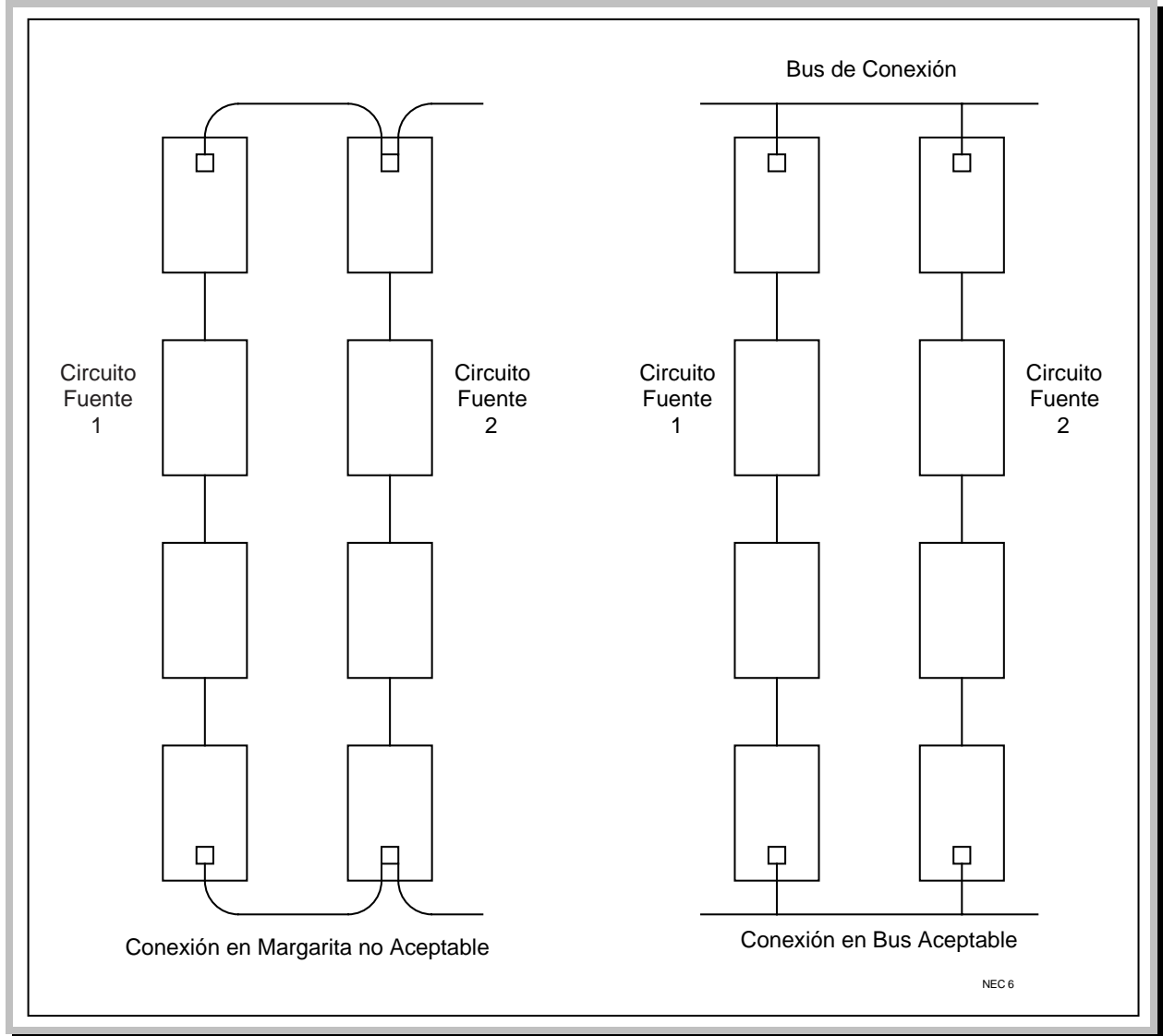


Figura 6. Métodos de Interconexión de los Módulos

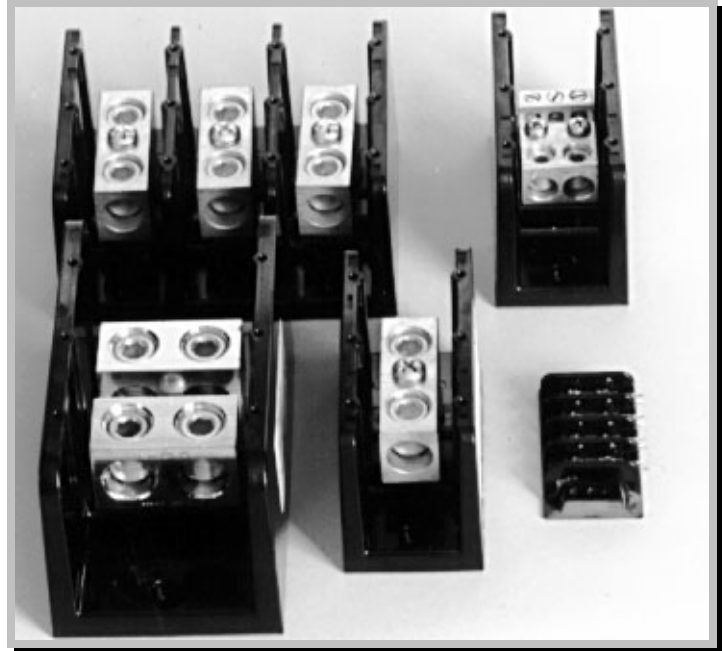


Figura 7. Conectores de Presión y Tiras de Terminales

Códigos de Color en Conductores

El *NEC* estableció códigos de colores para sistemas de energía eléctrica muchos años antes de que las industrias del automóvil y la electrónica hubieran normalizado códigos de colores. Los sistemas FV se instalan al amparo del *NEC* y, por tanto, deben cumplir las normas que se aplican a sistemas de energía, tanto continua como alterna. En un sistema donde exista toma de tierra, el aislamiento de todos los conductores puestos a tierra debe ser blanco o gris natural, o de cualquier color excepto verde, si está marcado con cinta de plástico o pintura blanca en ambas terminaciones (marcado permitido sólo en conductores de mayor calibre que 6 AWG). Los conductores usados para la puesta a tierra de la estructura soporte de los módulos y demás equipo metálico accesible, deben estar desnudos (sin aislamiento) o llevar un aislante o identificación de color verde, o verde con tiras amarillas [200-6, 7; 210-5].

El *NEC* exige que los conductores de tierra sean blancos. En la mayoría de los sistemas FV con puesta a tierra, el conductor de protección es el negativo. Los sistemas de telefonía que usan tierra positiva, necesitan circuitos especiales cuando se alimentan con sistemas FV que tienen tierra negativa. En un sistema FV donde el campo disponga de toma intermedia, esta toma intermedia o neutro debe ponerse a tierra [690-41], y éste se convierte en el conductor blanco. El *NEC* no especifica el color de los conductores que no estén a tierra, pero la regla es que los dos primeros conductores que no estén a tierra sean de color negro y rojo. Esto sugiere que en un sistema FV de dos conductores, con el negativo a tierra, el conductor positivo podría ser rojo o de cualquier color con una marca roja, excepto verde o blanco, y el conductor negativo de tierra **debe** ser blanco. En un sistema de tres conductores con toma intermedia, el conductor positivo podría ser rojo, la toma intermedia puesta a tierra debe ser de color blanco y el conductor negativo podría ser negro.

El *NEC* de 1996 permite que los conductores de puesta a tierra (no blancos) del campo FV, como USE o SE, que sean de menor calibre que 6 AWG, se marquen con una marca blanca [200-6].

Cables de la Batería

Los cables de la batería, aunque pueden ser de calibre 2 / 0 AWG y superior, deben ser del tipo estándar para edificios [Capítulo 3]. No se permiten cables de soldadura ni de baterías de automóviles. Para este uso, existen cables para edificios, flexibles y con muchos hilos (USE-RWH). Los cables flexibles, identificados en la sección 400 del *NEC*, se permiten desde los terminales de la batería hasta una caja de conexión cercana y entre los elementos de la batería [690-74].

PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA Y DESCONEXIÓN DEL CAMPO FV

Fallas a tierra

El Artículo 690-5 del *NEC* exige un dispositivo de detección de falla a tierra, interrupción y desconexión del campo FV, como protección contra incendios, si los paneles se montan en los tejados de casas particulares. Los paneles montados sobre el terreno no precisan este dispositivo. Se están desarrollando varios dispositivos que cumplan estos requerimientos, pero no hay ninguno comercialmente disponible. Estos aparatos pueden necesitar que el conductor de protección pase a través de ellos. Para minimizar costes, los dispositivos en desarrollo pueden sustituir al interruptor desconectador del campo FV e incorporar las siguientes funciones:

- Desconectador manual del campo FV
- Detección de falla a tierra
- Interrupción de falla a tierra
- Desconexión del campo FV
- Protección del cableado del campo FV contra sobreintensidades

Los dispositivos de detección de falla a tierra, interrupción y desconexión del campo deben llevar a cabo automáticamente las siguientes acciones, dependiendo del diseño particular:

- Detectar las corrientes de falla a tierra que excedan un valor determinado
- Interrumpir o reducir de forma significativa las corrientes de falla
- Abrir el circuito entre el campo y la carga
- Cortocircuitar el campo o subcampo FV

Estas acciones reducirían las tensiones del campo a valores casi nulos (minimizando los riesgos de descargas para las personas y el daño de los equipos) y servirían para que las corrientes de falla dejaran el camino de falla y volvieran a los conductores normales. Para la localización y reparación del falla, habría que abrir el dispositivo que cortocircuita el campo.

Se han desarrollado dispositivos de falla a tierra para algunos sistemas con inversores conectados a la red y sistemas aislados, y otros están en fase de desarrollo. Si una versión del *NEC* especifica algún equipo no disponible comercialmente, la autoridad que tenga jurisdicción puede facilitar una suspensión del requerimiento [90-4].

Desconexión del campo FV

El Artículo 690-18 exige un mecanismo que desconecte partes del campo o el campo por completo. El término “desconectar” tiene varios significados y el *NEC* no aclara lo que se pretende. El Manual del *NEC* desarrolla el término. Desconectar se puede definir de varias formas:

- Impedir que el sistema FV produzca salida alguna
- Reducir la tensión de salida a cero
- Reducir la corriente de salida a cero
- Dividir el campo en segmentos no peligrosos

La salida se podría medir en los terminales del campo FV o en los terminales de la carga.

Los bomberos se muestran reacios a extinguir un incendio en una sala de baterías de alta tensión porque no hay forma de desconectar el banco de baterías, a no ser que se pueda quitar el electrolito. De igual modo, la única forma de conseguir que la salida de un sistema FV sea nula en los terminales del campo es impidiendo que la luz ilumine los módulos. La salida se puede anular cortocircuitando los módulos o los terminales del campo. Cuando esto sucede, la corriente de cortocircuito fluye por el conductor que provoca el corto, lo que no resulta perjudicial en un sistema con un cableado apropiado y diodos de bypass. La corriente de salida se puede anular desconectando el sistema FV de cualquier carga. El interruptor desconectador del campo FV llevaría a cabo esta tarea, pero en el cableado del campo y en la caja de desconexión aún existiría la tensión de circuito abierto. En un sistema grande, una corriente de cortocircuito de 100 amperios (con el campo cortocircuitado) puede resultar tan difícil de manejar como una tensión a circuito abierto de 600 voltios.

Durante la instalación del campo FV, los paneles se pueden cubrir para desconectarlos. En un sistema en funcionamiento, el desconectador del campo FV se abre durante el mantenimiento y el campo se cortocircuita o se deja abierto según las circunstancias. En la práctica, para campos FV de gran dimensión, hay que prever la desconexión de partes del campo de otras secciones para el mantenimiento (interruptor o conexión de tornillo). Mientras se realiza el mantenimiento de los paneles individuales o grupos de paneles, estos se pueden cubrir y / o aislar y cortocircuitar para reducir la aparición de una sacudida eléctrica. Cuando un módulo o el campo FV está cortocircuitado, poco más se puede hacer que medir la corriente de cortocircuito. Durante las reparaciones, el sistema suele estar en circuito abierto.

PUESTA A TIERRA

El tema de puesta a tierra es uno de los asuntos más confusos en las instalaciones eléctricas. Las definiciones del Artículo 100 del *NEC* aclaran la situación.

Puesto a Tierra:	Conectado a la tierra o a un conductor que hace de tierra.
Conductor puesto a Tierra:	Un conductor del sistema que normalmente lleva corriente y se pone a tierra de forma intencionada. En los sistemas FV, un conductor (normalmente el negativo) en los sistemas de dos conductores o el neutro en sistemas bipolares, se pone a tierra.
Conductor de Tierra (1) y (2):	Un conductor que normalmente no lleva corriente y se usa para: (1) conectar las partes metálicas accesibles de los equipos al electrodo de tierra o conductor puesto a tierra, o (2) conectar el conductor puesto a tierra al electrodo de tierra.
Conductor de Tierra del Equipo:	Ver Conductor de Tierra (1), arriba.
Conductor del Electrodo de Tierra:	Ver Conductor de Tierra (2), arriba.

Puesta a Tierra—Sistema

En un sistema FV de dos conductores y tensiones superiores a 50 voltios (tensión de salida o tensión del campo FV a circuito abierto), **debe** ponerse a tierra un conductor de continua. En un sistema de tres conductores, el neutro o toma intermedia del sistema de continua **debe** ponerse a tierra [690-7, 41]. Esos requisitos se aplican tanto a sistemas aislados como a sistemas conectados a la red. El sistema de puesta a tierra aumenta la seguridad del personal y minimiza los efectos de los rayos y otras sobretensiones inducidas en los equipos. La puesta a tierra de todos los sistemas FV reduce también el ruido de radiofrecuencia causado por las luces fluorescentes de continua y los inversores.

Tamaño del Conductor del Electrodo de Tierra

El conductor del electrodo del sistema de tierra en continua **no debe** tener un calibre inferior a 8 AWG o al del mayor conductor presente en el sistema [250-93]. Si los conductores entre la batería y el inversor son de 4 / 0 AWG (por ejemplo), entonces el conductor desde el conductor negativo (suponiendo que es éste el que se pone a tierra) y el electrodo de tierra **debe** ser de 4 / 0 AWG. El *NEC* de 1996 permite excepciones para este gran conductor de tierra. Muchos sistemas FV pueden usar un conductor del electrodo de tierra con calibre 6 AWG, si ésta es la única conexión con el electrodo de tierra [250-93].

Punto de Conexión

El conductor del electrodo del sistema de tierra, para la sección de continua de un sistema FV, **debe** conectarse a los circuitos de salida del campo FV, hacia el final de los módulos del circuito [690-42, 250-22]. Cuando esta conexión se hace cerca de los módulos, se permite el uso de protecciones contra sobretensiones. Los interruptores de desconexión **no deben** cortar los conductores puestos a tierra [690-13]. En los sistemas aislados, el regulador de carga puede considerarse como parte del circuito de salida del campo FV y el punto de conexión del conductor del electrodo de tierra puede estar antes o después del

regulador. Pero este conductor de tierra tiene que ser de gran calibre (4 / 0 AWG, por ejemplo) mientras que los conductores que entran a salen del regulador pueden ser de caibre10 AWG o inferior. Si se conecta el conductor de tierra de calibre 4 / 0 AWG, aguas arriba del regulador, aunque se provee un grado de mejora en la supresión de sobretensiones inducidas por los rayos, puede que no se consiga el objetivo completo de los requerimientos de la puesta a tierra. Si conecta el conductor de tierra en el lado del regulador que da a las baterías, en un punto donde los conductores del sistema son del mayor calibre, se conseguirá una mejor puesta a tierra a expensas de una menor protección contra los rayos. Debido a que el *NEC* de 1996 permite en algunas circunstancias el uso de conductores más pequeños para el electrodo de tierra, cualquiera de los dos puntos de conexión es aceptable [250-93]. La Figura 8 muestra dos lugares posibles para la conexión del conductor de tierra.

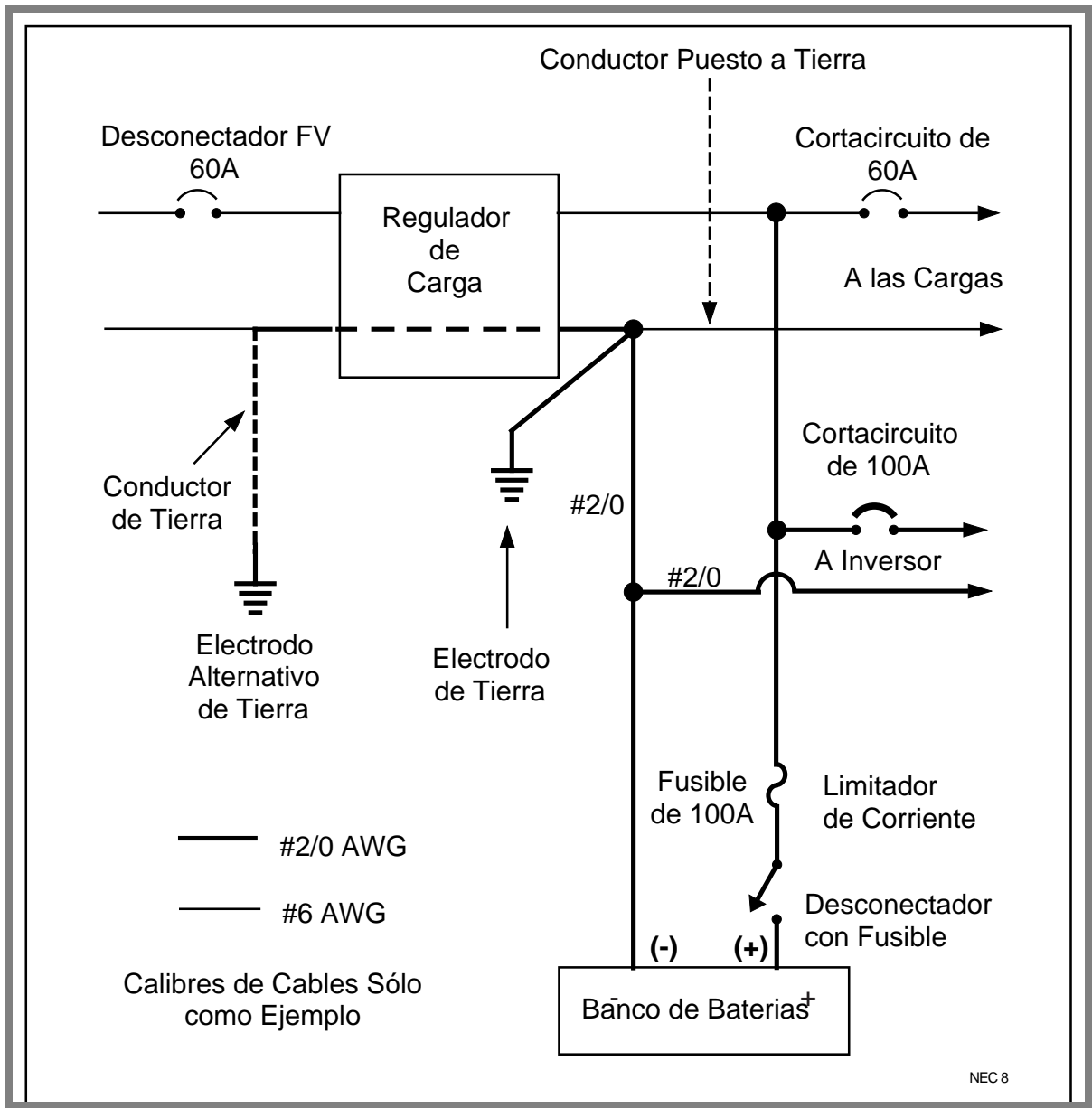


Figura 8. Sistema Típico: Situación Posible del Conductor de Tierra

El *NEC* no especifica donde terminan los circuitos de salida del campo FV. Los circuitos desde la batería hacia la carga son definitivamente circuitos ramales. Como los conductores mayores son los que van desde la batería hacia el inversor, y las dos terminaciones de estos conductores están al mismo potencial, cualquier terminación puede considerarse un punto de conexión del conductor de tierra. En algunos sistemas aislados con inversor, la entrada negativa de éste se conecta a la carcasa metálica, pero éste no es un buen lugar para conectar el conductor del electrodo de tierra y otros conductores de protección de equipos, debido a que este circuito es un circuito de alimentación de continua y no un circuito de salida del campo FV. Si se conecta el conductor del electrodo de tierra al terminal negativo de la batería, se evitaría el problema “cable grande / cable pequeño” señalado anteriormente.

Es obligatorio que no haya más de una conexión a tierra del conductor negativo de un sistema FV. No limitar el número de conexiones a una (1), permitirá el flujo de corrientes por conductores no aislados y se crearán fallas a tierra no intencionados en el conductor puesto a tierra [250-21]. Futuros sistemas de interrupción del falla a tierra, requerirán que esta única conexión a tierra se haga en un lugar específico.

Situaciones Poco Comunes en la Puesta a Tierra

En algunos diseños se usa el chasis como parte del circuito negativo. La misma situación se da también en algunos equipos de radio -en automóviles y onda corta. Estos diseños no cumplen las actuales normas *UL* para equipos eléctricos de consumo y es probable que requieran modificaciones en un futuro, ya que no proporcionan aislamiento eléctrico entre las superficies metálicas exteriores y los conductores portadores de corriente. También son causa real de las conexiones múltiples a tierra.

Como la carcasa de estos inversores no homologados se conecta al conductor negativo y la misma carcasa debe ponerse a tierra al igual que el resto del equipo, el usuario no puede elegir entre poner o no a tierra el sistema. El sistema se pondrá a tierra aunque la tensión sea inferior a 50 voltios y el punto de conexión del sistema de tierra será el terminal negativo de entrada del inversor.

Algunos sistemas de telefonía ponen a tierra el conductor positivo, lo que podría causar problemas cuando se alimenten con sistemas fotovoltaicos con tierra negativa. Un convertidor continua – continua, aislado de tierra, se puede utilizar para alimentar subsistemas que tengan polaridades de tierra distintas a la del sistema principal. En el campo de alterna, un transformador de aislamiento cumpliría el mismo propósito.

En grandes sistemas conectados a la red y en algunos sistemas aislados, se podrían usar sistemas de puesta a tierra de alta impedancia, en vez de o además de la puesta a tierra requerida. La discusión y el diseño de estos sistemas se alejan del alcance de esta guía. La puesta a tierra de los sistemas conectados a la red se trata en el Apéndice C.

Reguladores de Carga – Puesta a Tierra

En los sistemas con toma de tierra es importante que el regulador de carga no procese señal en el conductor puesto a tierra. Cuando el regulador se encuentra en funcionamiento, los relés y transistores en el conductor puesto a tierra crean una situación en la que, algunas veces, este conductor no está al potencial de tierra. Esta condición incumple las disposiciones del *NEC* que exige que todos los conductores identificados como conductores puestos a tierra deben estar al mismo potencial (es decir, a tierra). Una resistencia en derivación en el conductor puesto a tierra es equivalente a un cable si se dimensiona adecuadamente, pero el usuario de tales reguladores de carga corre el riesgo

de cortocircuitar esta resistencia cuando tiene lugar una puesta a tierra involuntaria en el sistema. El mejor diseño de un regulador de carga es aquel en el que el conductor activo puesto a tierra (normalmente el conductor negativo), atraviesa directamente desde el terminal de entrada hasta el de salida.

Puesta a Tierra – Equipos

Todas las partes metálicas no activas accesibles de las cajas de conexión, equipos y aparatos de todo el sistema FV y de carga continua, **deben** ponerse a tierra [690-43, 250 E, 720-1 & 10]. Todos los sistemas FV, independientemente de la tensión, **deben** tener un sistema de puesta a tierra de los equipos para las superficies metálicas accesibles (por ejemplo, el marco de los módulos y la carcasa del inversor) [690-43]. El conductor de tierra **deberá** dimensionarse como se exige en el Artículo 690-45 o 250-95. En general, esto significa dimensionar el conductor de puesta a tierra del equipo en base al tamaño del dispositivo de sobreintensidad que protege cada conductor. La Tabla 250-95 del *NEC* muestra los tamaños. Por ejemplo, si los conductores que van desde el inversor a la batería están protegidos por un fusible o interruptor de 400 amperios, **debe** usarse un conductor de calibre no inferior a 3 AWG para la puesta a tierra del equipo de ese circuito [Tabla 250-95]. Si los conductores portadores de corriente se han sobredimensionado para reducir la caída de tensión, entonces el tamaño del conductor de protección de los equipos **debe** ajustarse en correspondencia [250-95]. Si las corrientes de cortocircuito del campo FV son inferiores al doble de las especificadas para un dispositivo de sobreintensidad para los circuitos del mismo, **deben** usarse conductores de protección de los equipos del mismo tamaño que los conductores portadores de corriente del campo FV [690-45]. En otros casos, se aplica la Tabla 250-95 del *NEC*.

Puesta a Tierra del Equipo para Inversores no Homologados

Muchos inversores no homologados no están preparados para cumplir las exigencias del *NEC* en la cuestión de puesta a tierra. Se recomienda que se raspe la pintura de uno de los agujeros empleados para montar el inversor y se use el tornillo de montaje con arandelas de cierre dentadas, para conectar el conductor de puesta a tierra del equipo. Si el inversor tiene la carcasa conectada al terminal negativo, se puede usar el terminal negativo de entrada para la puesta a tierra del equipo y del sistema. **Debe** dimensionarse adecuadamente el conductor [250-95].

En algunos inversores homologados sólo está previsto un pequeño conductor de puesta a tierra del equipo, en el lado de alterna. Este conductor probablemente se volatilizaría si el falla a tierra ocurriera en el lado de continua del cableado. Se recomienda que se dimensione el conductor de puesta a tierra del equipo para la entrada en continua.

Salidas Alternas del Inversor

La salida del inversor (120 o 240 voltios) debe conectarse al sistema de distribución de corriente alterna de manera que no cree caminos paralelos de puesta a tierra. El *NEC* exige que tanto el conductor verde de puesta a tierra del equipo como el conductor neutro de color blanco, se pongan a tierra. El *NEC* también exige que en condiciones normales no fluya corriente por los conductores verdes. Si el inversor dispone de salidas para la puesta a tierra en alterna, es muy probable que los conductores neutro y de protección se conecten a la carcasa y, por tanto, se pongan a tierra dentro del inversor. Esta configuración permite el uso seguro de dispositivos enchufables. Sin embargo, si las salidas del inversor se conectan a un centro de carga alterna (no se recomienda) usado como un dispositivo de distribución, pueden surgir problemas.

El centro de carga alterna suele tener los conductores de protección de los equipos y el neutro conectados a la misma barra que se conecta a la carcasa, donde se ponen a tierra. Se crean caminos paralelos a tierra con corrientes neutras circulando por los conductores de protección de los equipos. Este problema se puede evitar usando un centro de carga con una barra neutra aislada de la de protección de los equipos.

Los inversores con salidas conectadas directamente pueden o no tener conexiones internas. Algunos inversores con interruptores de falla a tierra (GFCIs) para las salidas, deben conectarse de manera que permitan el funcionamiento correcto del GFCI. Es necesario un análisis caso por caso.

Generadores de Apoyo

Los generadores de apoyo usados para la carga de las baterías plantean problemas similares al uso de inversores y centros de carga. Estos pequeños generadores suelen tener tomas de alterna con los conductores neutro y de tierra unidos a la estructura del generador. Cuando se conecta el generador al sistema a través de un centro de carga, a un inversor en reposo con un cargador de baterías, o a un cargador de baterías externo, es probable que aparezcan caminos paralelos a tierra. Estos problemas deben tratarse caso por caso. Un sistema FV, en cualquier modo de operación, **no debe** tener corrientes circulando por los conductores de puesta a tierra de los equipos [250-21].

Puesta a Tierra Recomendada en Alterna

Los generadores auxiliares de alterna y los inversores deberían conectarse directamente al centro de carga alterna. En ninguno debería haber una conexión interna entre los conductores neutro y de tierra. Ninguno debería tener tomas de salida que puedan usarse cuando el generador o el inversor funcionen desconectados del centro de carga. La única conexión entre el neutro y la tierra se hará en el centro de carga. Si se desea disponer de tomas de salida en el generador o en el inversor, deberían ser dispositivos de interrupción de falla a tierra (GFPC).

Electrodo de Tierra

El electrodo de tierra del sistema en continua **debe ser** común, o estar conectado al electrodo de tierra en alterna (si existe) [690-47, 250-H]. Los conductores de tierra del sistema y de los equipos **deben** estar conectados al mismo electrodo de tierra o sistema de electrodos de tierra. Aunque el sistema fotovoltaico no esté puesto a tierra (opcional para tensiones menores que 50 voltios), el conductor de protección de los equipos debe conectarse al electrodo de tierra [250-50]. En algunas circunstancias pueden usarse las tuberías metálicas del agua y otras estructuras metálicas, al igual que los electrodos enterrados en el hormigón [250-81, 250-83]. Cuando se use electrodo de tierra, éste **debe** consistir en una vara resistente a la corrosión, con un diámetro mínimo de 5/8 de pulgada, con al menos 8 pies enterrados en el suelo y formando un ángulo con la vertical no superior a 45 grados [250-83]. Deben usarse conectores homologados para conectar el conductor de tierra al electrodo.

La cubierta metálica de un pozo es un buen electrodo de tierra. Podría ser parte de un sistema de electrodos de tierra. No debería usarse la tubería central que va al pozo como toma de tierra, porque algunas veces se quita para el mantenimiento.

Para tener mayor protección contra las sobretensiones inducidas por los rayos, se recomienda usar un sistema de electrodos de tierra, con al menos dos electrodos unidos entre sí. Un electrodo sería el electrodo principal del sistema de tierra, como se describió antes. El otro sería un electrodo de tierra suplementario, situado lo más cerca posible del

campo FV. Los marcos de los módulos y la estructura del campo se conectarían a este electrodo para que las sobretensiones inducidas por los rayos tuvieran un camino a tierra lo más corto posible. Este electrodo **debe** unirse con un conductor al electrodo principal del sistema de puesta a tierra [250-81]. El tamaño del cable de unión debe escogerse en relación con la ampacidad del limitador de corriente que protege los circuitos fuente del sistema FV. Este cable de unión sirve de complemento a la puesta a tierra de la estructura de los módulos, que debe hacerse mediante un conductor de protección de los equipos. En la Tabla 250-95 se muestran las especificaciones. Los conductores de protección de los equipos pueden ser más pequeños que los conductores del circuito, cuando estos son muy grandes. En el Artículo 250 del *NEC* se desarrollan estas especificaciones.

No conectar en los módulos el conductor activo negativo al electrodo de tierra, al conductor de protección de los equipos, o a la estructura. Debería haber sólo un punto donde se uniese el conductor del electrodo de tierra con el conductor de tierra del sistema. En la Figura 9 se aclara esto. Los tamaños de los cables son sólo un ejemplo y variarán en función del tamaño del sistema. El Capítulo 3 del *NEC* especifica la ampacidad de varios tipos y tamaños de conductores.

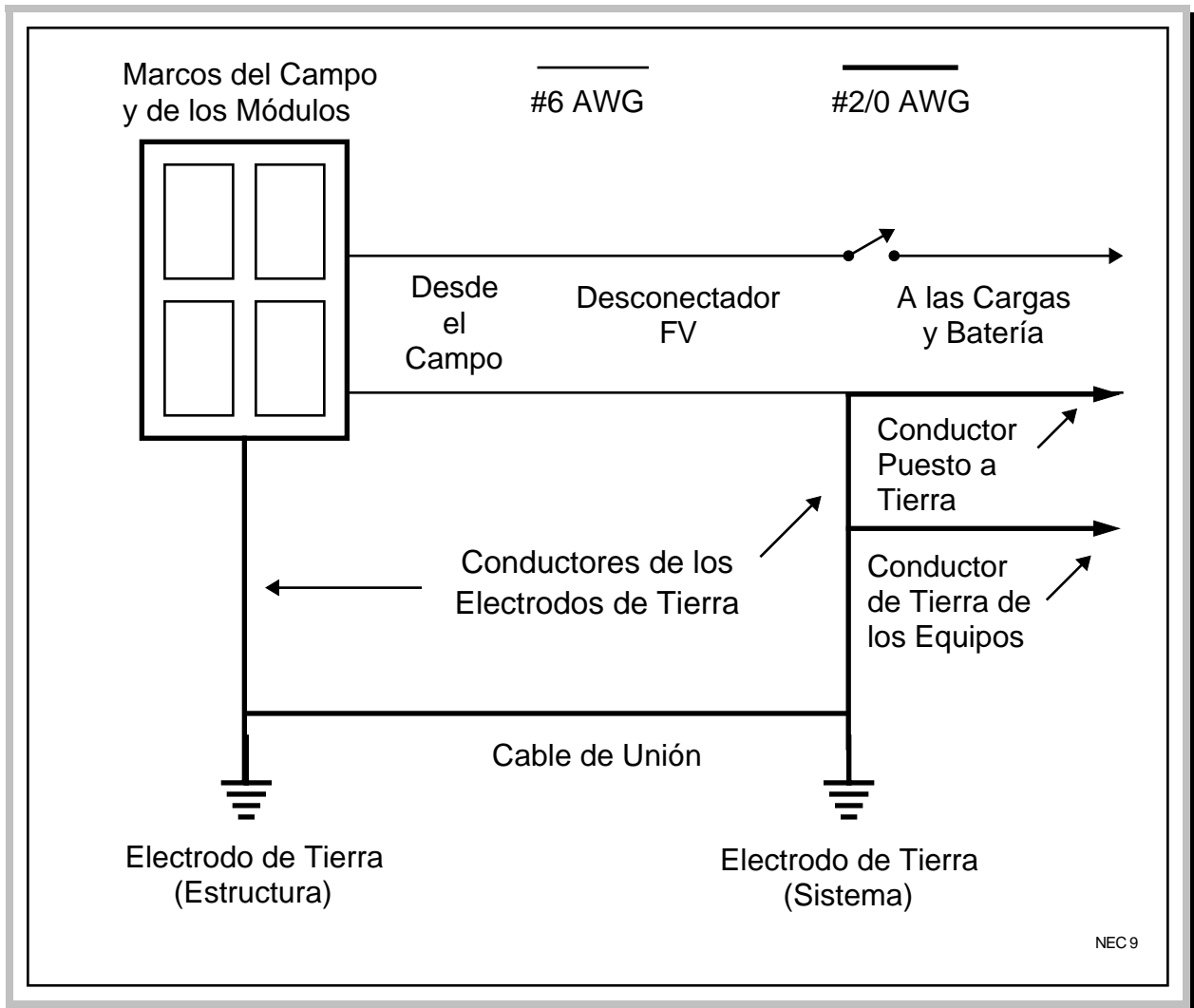


Figura 9. Ejemplo de Sistema de Electrodo de Tierra

AMPACIDAD DE LOS CONDUCTORES

Los módulos fotovoltaicos tienen una capacidad limitada para entregar corriente. La corriente de cortocircuito de un módulo es de un 10 a un 15 por ciento superior a la corriente de funcionamiento. Los valores diarios de irradiación solar pueden exceder el estándar de ensayo de 1000 W/m². En los cálculos de ampacidad de los conductores hay que tener en cuenta este aumento de corriente. Otro de los problemas de los sistemas FV es que los conductores pueden verse sometidos a temperaturas tan elevadas como 65-75°C cuando los módulos están montados cerca de una estructura, no hace viento y la temperatura ambiente es elevada. Los valores de temperatura en las cajas de conexión del módulo suelen estar en este rango. Debido a esto, **hay que** disminuir la ampacidad de los conductores o corregirla con factores que figuran en las Tablas del *NEC* 310-16 o 310-17. Por ejemplo, el cable monopolar USE / RWH-2 de calibre 10 utilizado bajo tubo para las interconexiones del módulo, tiene un aislamiento para 90°C y una ampacidad de 40 amperios para una temperatura ambiente de 26-30°C. Cuando se usa a temperaturas ambiente de 61-70°C, la ampacidad de este cable se reduce a 23.2 amperios.

Hay que señalar que los valores de ampacidad asociados con los conductores de aislamiento para 90°C, sólo se pueden usar si los terminales del módulo están especificados para 90°C [110-14(c)]. Si los terminales se especifican para 75°C, entonces **deben** usarse los valores de ampacidad asociados con el aislamiento para 75°C, aunque se usen conductores con aislamiento para 90°C.

La ampacidad de los conductores de los circuitos fuente del sistema FV **debe** ser al menos el 125% de la corriente de cortocircuito del módulo o módulos en paralelo [690-8]. La ampacidad de los conductores de los circuitos de salida del sistema FV **debe** ser al menos el 125% de la corriente de cortocircuito de salida. La ampacidad de los conductores que entran o salen del inversor o sistema de acondicionamiento de potencia **debe** ser el 125% de la corriente de operación del dispositivo [690-8]. De forma análoga, los demás conductores del sistema deberían tener una ampacidad del 125% de la corriente de operación, para permitir el funcionamiento prolongado a plena potencia [220-3(a)]. Con estas exigencias del *NEC* se asegura que los dispositivos de sobreintensidad o cuadros de mando, funcionan a menos del 80% de su ampacidad. Hay que revisar la ampacidad cuando se prevén salidas del sistema FV por encima de lo normal, debido a la presencia de nieve o nubes. En muchos lugares, los valores diarios esperados de irradiación superan el valor estándar de ensayo de 1000 W/m².

La revisión del estándar *UL* 1703 de 1989, para módulos fotovoltaicos, exige que las instrucciones de instalación de los módulos incluyan un incremento del 25% en las especificaciones de corriente de cortocircuito y tensión a circuito abierto para 25°C, en previsión de picos de irradiación y temperaturas más frías. El diseño correcto implica el dimensionado correcto del cableado y de la capacidad de los limitadores de corriente en los circuitos fuente y de salida del sistema FV. Sin embargo, la capacidad de los limitadores de corriente debería ser siempre menor o igual que la ampacidad del cable. El *NEC* hace sólo algunas excepciones a esta regla [240-3].

La ampacidad de los conductores y el dimensionado de los limitadores de corriente son aspectos que requieren especial atención por parte del diseñador / instalador del sistema FV. Cada instalación particular requiere sus métodos de cableado y temperaturas. Empezar con el 125% del valor de *I*_{sc} para cumplir las exigencias de *UL*. Luego, usar un incremento adicional del 125% para el cumplimiento del código. Finalmente, disminuir la ampacidad del cable por causa de la temperatura. Ver el Apéndice E para más ejemplos.

Los dispositivos contra sobreintensidades pueden tener terminales especificados para la conexión de conductores de 60°C, siendo necesaria una reducción de la ampacidad del cable cuando se usan conductores de 75°C o 90°C.

Sistemas Aislados - Inversores

En sistemas aislados, los inversores se usan a menudo para cambiar la corriente continua (dc) del banco de baterías a corriente alterna (ac) de 120 o 140 voltios y 60 hertzios (Hz). Los conductores entre el inversor y la batería **deben** tener mecanismos de desconexión y protección contra sobreintensidades dimensionados de forma apropiada [240, 690-8(b)(4), -15]. Estos inversores suelen soportar sobrecargas de corta duración (decenas de segundos) que son de 4 a 6 veces mayores que la salida nominal. Por ejemplo, un inversor de 2 500 vatios puede verse sometido a una sobrecarga de 10 000 volt-amperios durante 5 segundos cuando se arranca un motor. El *NEC* exige que la ampacidad de los conductores entre la batería y el inversor se adecue a los 2 500 vatios de salida del inversor. Por ejemplo, en un sistema de 24 voltios, un inversor de 2 500 vatios entregaría 105 amperios a plena carga (100% de eficiencia a 24 voltios) y 420 amperios para las sobrecargas del arranque de motores. La ampacidad de los conductores entre la batería y el inversor **debe** ser el 125% de los 105 amperios, o 131 amperios.

Para minimizar las caídas de tensión en estado estacionario, tener en cuenta las caídas de tensión debidas a las sobretensiones y aumentar la eficiencia, la mayoría de los sistemas bien diseñados tienen conductores varias veces mayores que los requeridos por el *NEC*. Cuando se sobredimensionan los conductores portadores de corriente, el conductor de puesta a tierra de los equipos también debe sobredimensionarse proporcionalmente [250-95].

Cuando el banco de baterías tiene toma intermedia para proporcionar múltiples tensiones (es decir, 12 y 24 voltios de un banco de baterías de 24 voltios), el conductor negativo común conduce la **suma** de todas las corrientes de carga simultáneas. El conductor negativo **debe** tener una **ampacidad al menos igual a la suma** de todas las capacidades de los dispositivos que protegen a los conductores positivos, o tener una ampacidad igual a la suma de las ampacidades de los conductores positivos [690-8(c)].

El *NEC* no permite poner en paralelo varios conductores para aumentar la ampacidad, excepto los cables de calibre 1 / 0 AWG o superior, que se pueden poner en paralelo bajo ciertas condiciones [310-4]. El coste de los interruptores, limitadores de corriente y conductores de continua, aumenta de forma significativa cuando tienen que soportar más de 100 amperios. Se recomienda dividir los campos FV grandes en subcampos, teniendo cada uno una corriente de cortocircuito inferior a 64 amperios. Esto permitirá usar equipo especificado para 100 amperios (156% de 64 amperios) en cada circuito fuente.

PROTECCIÓN CONTRA SOBREENTENSIDADES

El *NEC* exige que todos los conductores que no estén puestos a tierra se protejan por un limitador de corriente [240-20]. En un sistema FV con múltiples fuentes de energía (módulos FV, baterías, cargadores de baterías, generadores, sistemas de acondicionamiento de potencia, etc.), el limitador de corriente debe proteger al conductor de la sobreintensidad de cualquier fuente conectada a ese conductor [690-9]. Los diodos de bloqueo, reguladores de carga e inversores, no se consideran limitadores de corriente y deben considerarse como cables de resistencia nula cuando se valoran las fuentes de sobreintensidades (690-9 FPN). Si el sistema FV está conectado directamente a la carga sin batería de almacenamiento u otra fuente de energía, no se precisa ninguna protección contra sobreintensidades si los conductores se dimensionan al 156% de la corriente de cortocircuito [690-8b-Ex].

Cuando se abren los circuitos en sistemas de continua, los arcos se mantienen más tiempo que en los sistemas de alterna. Esto supone cargas adicionales para los dispositivos de protección contra sobreintensidades especificados para funcionar en continua. Tales dispositivos deben soportar la corriente de carga y detectar situaciones de sobreintensidades, al igual que ser capaces de interrumpir las corrientes continuas de una forma segura. Los limitadores de corriente en alterna tienen las mismas exigencias, pero la función de interrupción es considerablemente más fácil.

Capacidad

Los circuitos fuente del sistema FV **deben** tener limitadores de corriente con capacidad de al menos el 125% de la corriente de cortocircuito de los módulos en paralelo. Los limitadores de corriente de los circuitos de salida del sistema FV deben tener una capacidad de al menos el 125% de las corrientes de cortocircuito [690-8]. En algunas instalaciones ha tenido lugar la fusión de fusibles y se han soltado terminales por razones desconocidas. Una buena práctica de ingeniería consiste en aumentar la capacidad de estos limitadores de corriente y la capacidad de los conductores a los que protegen, al 156% de la corriente de cortocircuito. Esta práctica concuerda con las exigencias *UL* mencionadas anteriormente ($1.25 \times 1.25 = 1.56$). Los fusibles con retardo de tiempo o los cortocircuitos deberían minimizar las fusiones o saltos molestos. En todos los casos, deben usarse dispositivos de continua que tengan la adecuada capacidad de tensión continua y deben dotarse de la ventilación adecuada.

Todos los conductores que no estén puestos a tierra **deben** protegerse con limitadores de corriente [Artículo 240, Diagrama 690-1]. Los conductores puestos a tierra (no se muestran en el Diagrama 690-1) no deberían tener limitadores de corriente ya que la apertura independiente de estos dispositivos dejaría al sistema sin toma de tierra. Debido a que las corrientes de salida de los módulos son limitadas, estos limitadores de corriente protegen al cableado del campo FV contra cortocircuitos de la batería o del sistema de acondicionamiento de potencia.

Como los conductores y los limitadores de corriente se dimensionan para soportar el 125% de la corriente de cortocircuito para ese circuito particular, las sobreintensidades de esos módulos o fuentes del sistema FV, que están limitadas por la corriente de cortocircuito, no pueden hacer saltar el limitador de corriente de este circuito. Los limitadores de corriente en estos circuitos protegen a los conductores de las sobreintensidades de los conjuntos de módulos conectados en paralelo (fallo del diodo) o sobreintensidades del banco de baterías (fallo del diodo o del regulador de carga). En sistemas de apoyo o sistemas conectados a la red, estos limitadores de corriente del

campo FV protegen al cableado del campo de las sobreintensidades de las filas de módulos conectadas en paralelo, de la batería, o del generador o potencia alterna de la red cuando el cargador de la batería o el inversor fallan.

A menudo, los módulos FV o las filas de módulos en serie se conectan en paralelo. Como el tamaño del conductor usado en el cableado del campo FV aumenta para adaptarse a la máxima corriente de cortocircuito de los módulos conectados en paralelo, cada tamaño de conductor debe protegerse por un limitador de corriente de tamaño apropiado. Estos dispositivos deben colocarse lo más cerca posible de todas las fuentes de posibles sobreintensidades para ese conductor [240-21]. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de protección contra sobreintensidades del campo FV, correspondiente a un campo FV de tamaño medio, dividido en subcampos. Los tipos y tamaños de los cables son sólo ejemplos. Los tamaños reales dependerán de la ampacidad necesaria.

Como dispositivos limitadores se aceptan tanto fusibles como cortacircuitos, siempre que estén especificados para sus uso esperado —es decir, que estén especificados para continua cuando se usen en circuitos de continua, que la ampacidad sea la correcta, y que puedan interrumpir las corrientes necesarias cuando ocurren cortocircuitos [240 , F, G]. En la Figura 11 se muestran cortacircuitos para continua, homologados por *UL*, usados en un centro de energía FV como limitadores de corriente y desconectores. Los cortacircuitos de este sistema están fabricados por Heinemann (Apéndice A). El *NEC* permite el uso de limitadores suplementarios homologados (reconocidos) sólo para la protección de circuitos fuente del sistema FV.

Algunos limitadores de corriente especificados para menos de 100 amperios, pueden tener terminales especificados para su uso con conductores de 60°C. Puede que haya que ajustar los cálculos de la ampacidad de los cables conectados.

Ensayo y Aprobación

El *NEC* exige que se usen dispositivos homologados para la protección contra sobreintensidades. Un dispositivo homologado por *UL* u otro laboratorio de ensayo certificado, se prueba de acuerdo con un estándar *UL* adecuado. Un dispositivo reconocido se prueba por *UL* u otro laboratorio de ensayo certificado, de acuerdo con unos estándares establecidos por el fabricante del dispositivo. En la mayoría de los casos, los estándares establecidos por los fabricantes son menos rigurosos que los establecidos por *UL*. Muchos inspectores no aceptarán dispositivos reconocidos, en particular cuando se usen para protección contra sobreintensidades.

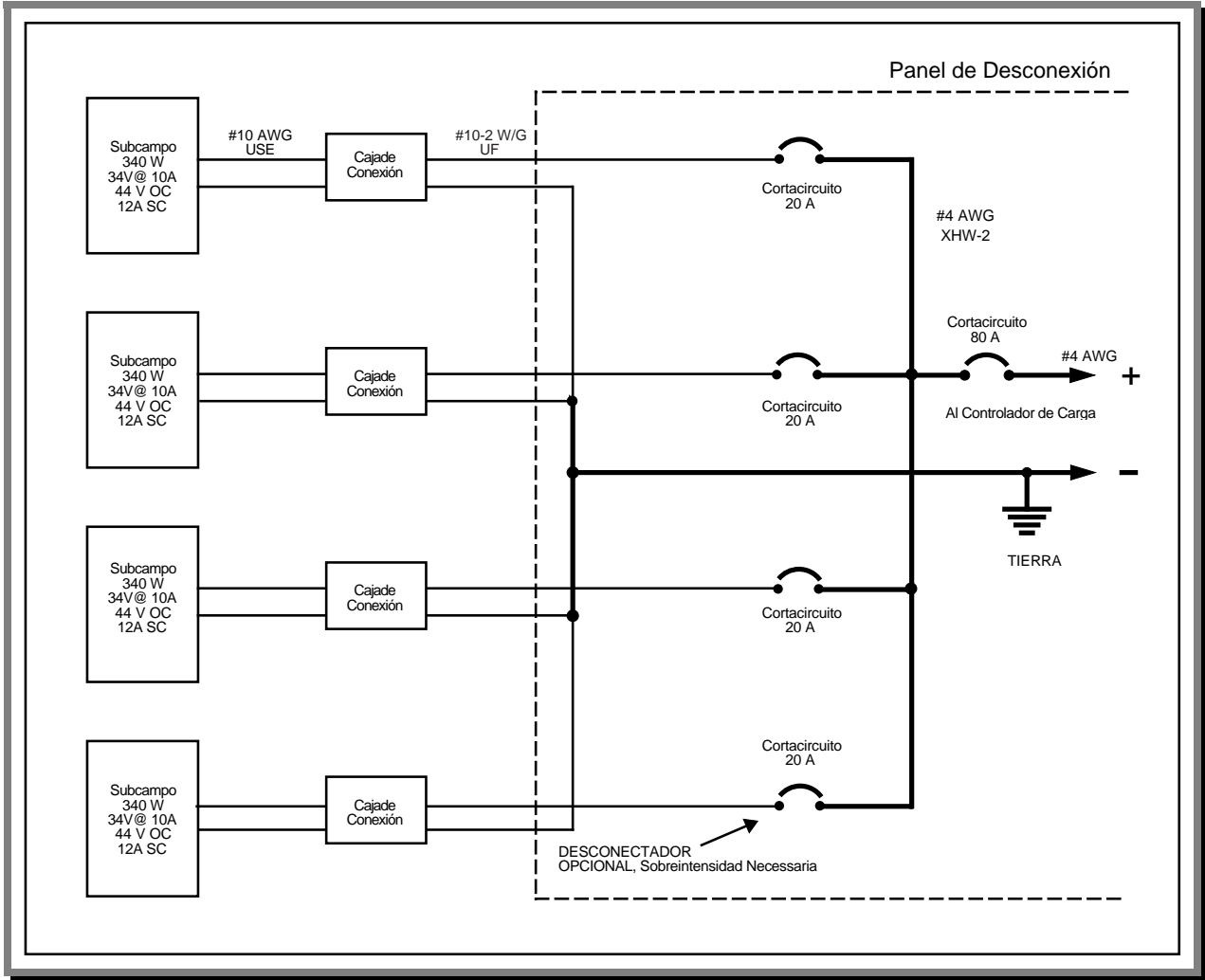


Figura 10. Protección Típica de los Conductores del Campo Contra Sobreintensidades (con Desconectores Opcionales para los Subcampos)

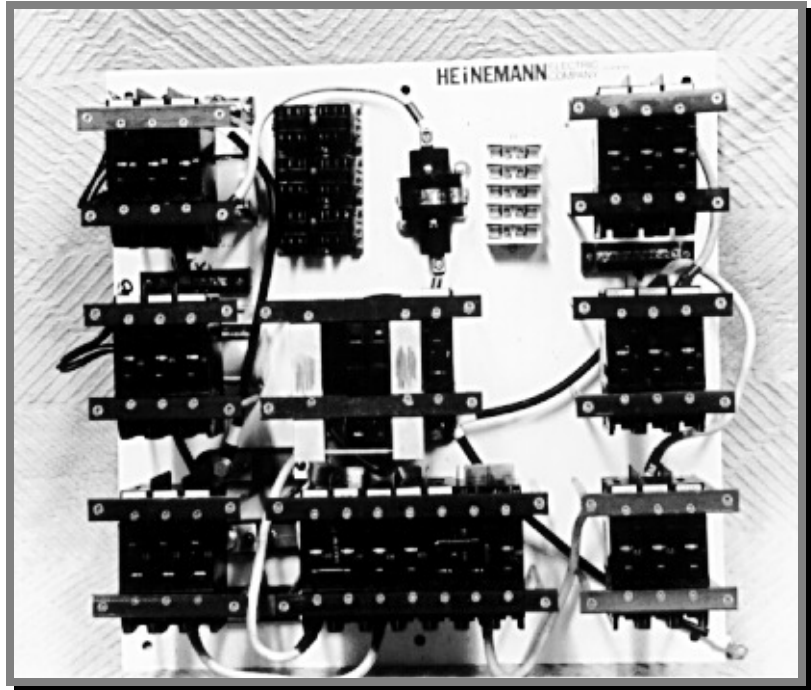


Figura 11. Cortacircuitos Homologados para Circuitos Ramales

Debido a que los sistemas FV pueden tener transitorios –rayos y encendido de motores, entre otros- en la mayoría de los casos deberían usarse cortacircuitos de tiempo inverso (el tipo estándar) o fusibles con retardo. En circuitos donde no se esperan transitorios, se pueden usar fusibles rápidos. Deberían usarse si los relés y otros interruptores están protegidos. También se pueden usar para la protección del sistema, los fusibles con retardo que también pueden responder con rapidez ante corrientes de cortocircuito.

Circuitos Ramales

En los sistemas aislados, los circuitos ramales de continua empiezan en la batería y van hasta los receptáculos donde se conectan las cargas de continua o hasta las cargas de continua conectadas directamente. En los sistemas conectados directamente, los circuitos de salida van hasta el controlador de potencia o interruptor principal de potencia y un circuito ramal va desde estos hasta la carga. En los sistemas conectados a la red, el circuito entre el inversor y el centro de carga alterna puede considerarse un circuito de alimentación.

Los fusibles usados para proteger los circuitos ramales de continua o alterna, deben estar probados y especificados para ese uso. También deben tener tamaños y marcas diferentes para cada grupo de corriente y tensión, para impedir el intercambio fortuito [240F]. Se está extendiendo el uso de fusibles especificados para continua que cumplen las exigencias del NEC. En la Figura 12 se muestran, a la izquierda, fusibles con retardo de tiempo, especificados para continua y homologados por *UL*, que son aceptables para el uso en circuitos ramales, que incluirían el fusible de la batería. A la derecha se muestran fusibles rápidos suplementarios, homologados por *UL*, especificados para continua y aceptables, que se pueden usar en los circuitos fuente del sistema FV. Los fusibles mostrados los fabrica Littlefuse (Apéndice A) y los soportes para los fusibles son de Marathon (Apéndice A). Otros fabricantes como Bussman y Goulg están obteniendo las

especificaciones de continua, homologadas por *UL*, en los tipos de fusibles que se necesitan en los sistemas FV. Estas exigencias particulares eliminan el uso de fusibles de cristal, cerámica y los de plástico usados en automoción, como limitadores de corriente en los circuitos ramales porque no se han probado ni especificado para esta aplicación.



Figura 12. Fusibles Homologados Suplementarios y para Circuitos Ramales

Los fusibles usados en automoción no están especificados para continua por la industria o los laboratorios de ensayo y **no deberían usarse en sistemas FV**. Cuando vienen especificados por el fabricante, sólo soportan un máximo de 32 voltios, que es menos que la tensión en circuito abierto de un campo FV de 24 voltios. Más aún, estos fusibles no tienen especificación para interrumpir corriente, ni suelen estar marcados con toda la información requerida para los fusibles de circuitos ramales. No se consideran fusibles suplementarios por los programas de homologación *UL* o de reconocimiento de componentes. En la Figura 13 se muestran, a la izquierda, fusibles de automoción inaceptables y fusibles suplementarios homologados, a la derecha. Desafortunadamente, incluso los fusibles suplementarios se destinan al uso en alterna y no suelen tener especificaciones para continua.

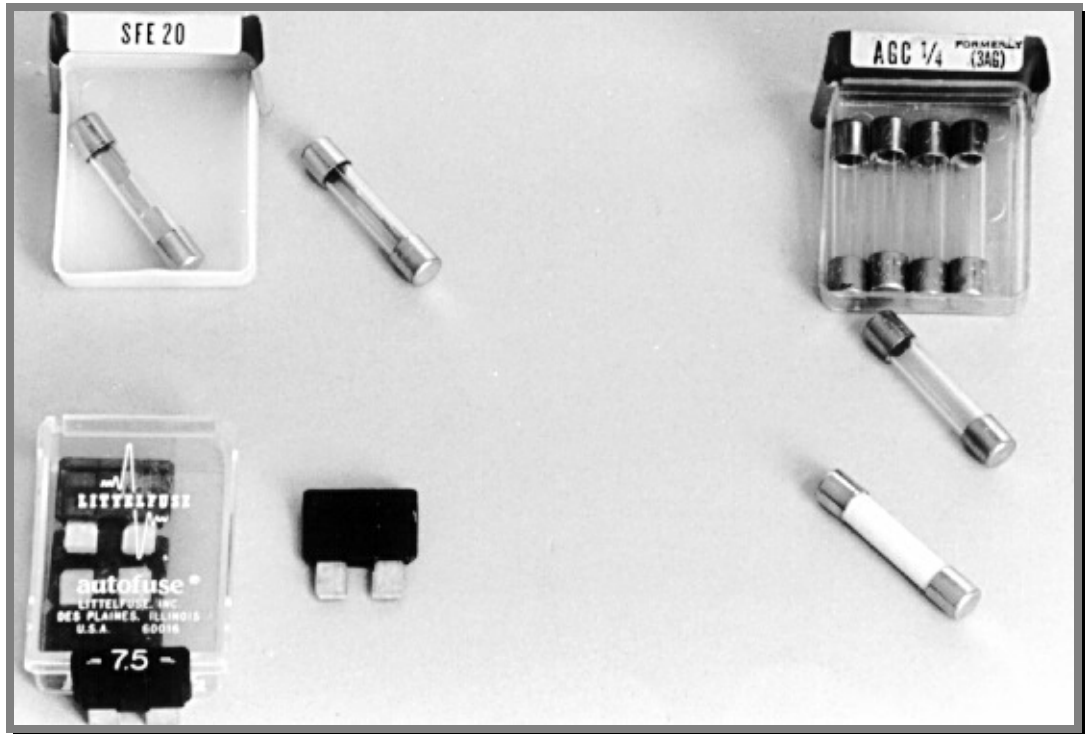


Figura 13. Fusibles no Aceptados (a la izquierda) y Aceptados (cuando se especifican para DC) (a la derecha)

Los cortacircuitos también tienen requerimientos específicos cuando se usan en circuitos ramales, pero suelen estar disponibles con las especificaciones necesarias para continua [240 G]. En la Figura 14 se muestran, a la izquierda, ejemplos de cortacircuitos (suplementarios) reconocidos por *UL* y para continua. Se pueden usar en los circuitos fuente del sistema FV como desconectores y limitadores de corriente, pero no son dispositivos homologados y puede que el inspector no los permita. Las unidades más grandes son cortacircuitos homologados por *UL*, especificados para continua y para circuitos ramales, y se pueden usar en los centros de carga continua para la protección de circuitos ramales. Los interruptores mostrados están hechos por Square D y Heinemann. Airpax también produce cortacircuitos homologados por *UL*, y Potter Brumfield y otros producen interruptores suplementarios para continua y reconocidos por *UL*.

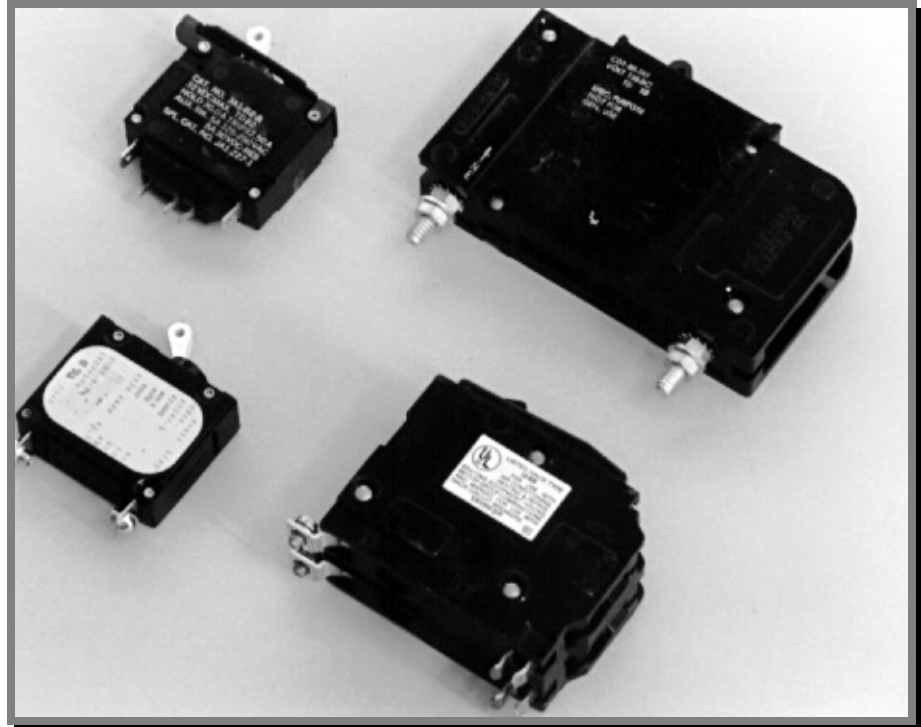


Figura 14. Cortacircuitos Homologados y Reconocidos por *UL*

Para proporcionar la máxima protección y mayor rendimiento (mínima caída de tensión) en los circuitos ramales (particularmente en los sistemas de 12 y 24 voltios), la ampacidad de los conductores debería aumentarse, pero la capacidad de los limitadores de corriente que protegen ese cable debería ser la menor posible, en concordancia con las corrientes de carga. Una fórmula general para la ampacidad del cable y la capacidad del limitador de corriente es el 100% de las cargas no continuadas y el 125% de las cargas continuadas [220].

Poder de Corte (PC) – Condiciones de Cortocircuito

Los dispositivos limitadores de corriente –tanto los fusibles como los cortacircuitos - deben ser capaces de abrir de forma segura los circuitos con corrientes de cortocircuito a su través. Como los campos FV tienen una limitación inherente de corriente, la corrientes elevadas de cortocircuito provenientes del campo no suponen un problema cuando se dimensionan los conductores tal y como se indicó anteriormente. Sin embargo, en sistemas aislados con baterías de almacenamiento, el problema de la corriente de cortocircuito es muy grave. Una batería de plomo-ácido de 220 amperios · hora, 6 voltios y descarga profunda, puede producir una corriente de cortocircuito tan elevada como 8 000 amperios durante una fracción de segundo y hasta 6 000 amperios durante unos pocos segundos en un cortocircuito directo, terminal con terminal. Estas corrientes tan elevadas pueden dar lugar a grandes esfuerzos térmicos y magnéticos que pueden causar el incendio o la explosión de un dispositivo mal dimensionado. Dos baterías en paralelo generarían el doble de corriente y las baterías de mayor capacidad podrían entregar, en proporción, más corriente bajo una condición de cortocircuito. En los sistemas de continua, en particular en los sistemas aislados con baterías, es importante el poder de corte de todos los dispositivos limitadores de corriente.

La mayoría de los cortacircuitos de circuitos ramales, homologados por *UL* y especificados para continua, tienen un poder de corte de 5 000 amperios. Sin embargo, Heinemann Electric fabrica algunos con poder de corte de 25 000 amperios (Apéndice A). Algunos cortacircuitos suplementarios, reconocidos por *UL* y especificados para continua, tienen un poder de corte de tan sólo 3 000 amperios. Los fusibles de continua, homologados, suelen tener un poder de corte de hasta 20 000 amperios, si son del tipo limitador de corriente.

Los fusibles o cortacircuitos **nunca deben** agruparse o ponerse en paralelo para aumentar la capacidad de corriente, a no ser que vengan así de fábrica y estén homologados para este uso [240-8].

Fusibles de los Circuitos Fuente

El *NEC* permite usar fusibles suplementarios en los circuitos fuente del sistema FV [690-9(c)]. Un fusible suplementario es aquel que se diseña para usar con equipos homologados. Estos fusibles complementan el fusible principal del circuito de alimentación y no tienen que cumplir todos los requerimientos de los fusibles de estos circuitos. Deben, no obstante, estar especificados para continua y ser capaces de manejar las corrientes de cortocircuitos a las que pueden estar sometidos [690-9d]. Desafortunadamente, muchos fusibles suplementarios no están especificados para continua, y si lo están, el poder de corte (cuando está disponible) suele ser menor que 5 000 amperios. **No** se recomienda el uso de fusibles suplementarios especificados para alterna, en los circuitos de continua de los sistemas FV.

Fusibles Limitadores de Corriente – Sistemas aislados

Debe usarse un fusible limitador de corriente en cada conductor que parte de la batería y no esté puesto a tierra, para limitar la corriente que el banco de baterías puede entregar en un cortocircuito y para reducir las corrientes de cortocircuito a niveles que estén dentro de la capacidad del equipo situado aguas abajo [690-71(c)]. Estos fusibles están disponibles con especificaciones *UL* de 125, 300 y 600 voltios de continua, corrientes de 0.1 a 600 amperios y poder de corte en continua de 20 000 amperios. Se clasifican como fusibles limitadores de corriente RK5 o RK1 y deberían utilizarse en los desconectores con fusibles con portafusibles de Clase R o especificados para continua. También se pueden usar fusibles de Clase J o T con especificaciones para continua. Por las razones mencionadas anteriormente, deberían usarse fusibles con retardo de tiempo, aunque algunos diseñadores están obteniendo buenos resultados con los fusibles rápidos de Clase T. Uno de estos fusibles y el desconector asociado debería usarse en **cada** banco de baterías con una capacidad total de hasta 1 000 amperios · hora. Las baterías con capacidades por elemento superiores a 1 000 amperios · hora, necesitan consideraciones especiales de diseño, porque estas baterías pueden generar corrientes de cortocircuito superiores a los 20 000 amperios de poder de corte de los fusibles limitadores de corriente. Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito deben tenerse en cuenta las resistencias de todas las conexiones, terminales, cables, portafusibles, cortacircuitos y conmutadores. Estas resistencias sirven para reducir la magnitud de las corrientes de cortocircuito disponibles en cualquier punto. La recomendación de un fusible por cada 1 000 amperios · hora de tamaño de batería, es sólo una estimación general y el cálculo depende del caso. Los fusibles mostrados en la Figura 12 son limitadores de corriente.

En los sistemas de menos de 65 voltios (en circuito abierto), pueden usarse los cortacircuitos de Heinemann Electric, con poder de corte de 25 000 amperios (Apéndice A). Estos cortacircuitos no son limitadores de corriente, a pesar de la elevada capacidad

de interrupción, de manera que no se pueden usar para proteger otros fusibles o cortacircuitos. Un uso apropiado sería en el conductor entre el banco de baterías y el inversor. Este dispositivo minimizaría la caída de tensión y proporcionaría las características necesarias de desconexión y sobreintensidad.

Fusibles Limitadores de Corriente – Sistemas Conectados a la Red

La práctica normal de instalaciones eléctricas exige que el equipo de entrada del servicio tenga dispositivos de protección contra fallas de corriente que puedan interrumpir las posibles corrientes de cortocircuito [230-65, 208]. Este requerimiento se aplica a cualquier sistema de acondicionamiento de potencia en el lado de la compañía suministradora, en una instalación FV. Si el servicio es capaz de entregar corrientes de falla superiores al poder de corte de los dispositivos contra sobreintensidades usados para conectar el inversor al sistema, entonces **deben** usarse dispositivos limitadores de corriente [110-9].

Mantenimiento de los Fusibles

Siempre que se use un fusible como un dispositivo contra sobreintensidades y sea accesible a personal no cualificado, **debe** estar en un circuito donde se pueda eliminar toda la potencia a ambos lados del fusible, para su mantenimiento. No llega con anular la corriente antes de cambiar el fusible. Para efectuar el mantenimiento, no debe haber tensión presente en ningún lado del fusible. Esto puede requerir la inclusión de interruptores a ambos lados del fusible –una complicación que aumenta la caída de tensión y reduce la fiabilidad del sistema [690-16, Diagrama 690-1]. Debido a esta necesidad, se recomienda el uso de un desconectador con fusible extraíble o un cortacircuito. Para los circuitos de carga de baterías y de consumos en continua, se recomienda que se use un fusible limitador de corriente en la batería, con un interruptor situado entre la batería y el fusible limitador. Se pueden usar cortacircuitos para el resto de dispositivos contra sobreintensidades en los circuitos aguas abajo, donde las posibles corrientes de falla no superan su poder de corte, o donde están protegidos por un limitador de corriente.

MEDIOS DE DESCONEXIÓN

Hay muchas consideraciones a la hora de configurar los desconectadores de un sistema FV. El Código Eléctrico Nacional trata primero la seguridad y luego otras exigencias. El diseñador FV también debe considerar el daño causado en el equipo por sobretensiones, opciones de rendimiento, limitaciones de equipo y coste.

Un sistema fotovoltaico es un sistema de generación de potencia y es necesario un número mínimo de desconectadores para tratar esa potencia. Los sistemas se mantienen por personal sin experiencia; por tanto, el sistema de desconexión debe diseñarse para proporcionar seguridad, fiabilidad y fácil ejecución.

El número de desconectadores varía desde cero, en una farola alimentada por energía FV, hasta los encontrados en la sala de control, al estilo de una lanzadera espacial, de una estación de energía FV conectada a la red y de muchos megavatios. Generalmente, los inspectores locales no exigen desconectadores en los sistemas FV totalmente cerrados, como el sistema de iluminación de aceras o aparatos de ventilación en los áticos. Esto sería particularmente cierto si todo el conjunto estuviera homologado por *UL* como una unidad y no hubiera contactos exteriores o partes mantenidas por el usuario. Sin embargo, la situación cambia a medida que aumenta la complejidad del dispositivo y hay que

cablear módulos, baterías y controladores de carga que tienen contactos exteriores y que posiblemente serán utilizados y mantenidos por personal no autorizado.

Desconectores del Campo Fotovoltaico

El Artículo 690 exige que todos los conductores portadores de corriente que parten de la fuente de potencia FV estén provistos de una desconexión. Esto incluye al conductor puesto a tierra, si existe [690-13, 14; 230 F]. Los conductores que no están puestos a tierra **deben** tener un cortacircuito para su desconexión. Los conductores puestos a tierra que suelen permanecer conectados todo el tiempo, **deben** tener una desconexión tipo tornillo que pueda usarse para operaciones de mantenimiento y cumplir con las exigencias del NEC.

En un sistema FV de 12 o 24 voltios, aislado de tierra, tanto el conductor positivo como el negativo deben llevar un interruptor, ya que ninguno está puesto a tierra. Como todas las instalaciones **deben** tener un sistema de puesta a tierra del equipo, se pueden reducir los costes poniendo a tierra los sistemas de 12 o 24 voltios y usando desconectores unipolares en el resto de los conductores no puestos a tierra.

Desconectores del Equipo

Cada parte del equipo del sistema FV **debe** tener desconectores para desconectarla de todas las fuentes de potencia. Los desconectores **deben** ser cortacircuitos y **deben** cumplir con todas las previsiones del Artículo 690-17. Los interruptores de continua son caros; por tanto, la disponibilidad de interruptores de continua, de precio moderado, con especificaciones de hasta 48 voltios y 70 amperios podría incentivar su uso en todos los sistemas de 12 y 24 voltios. Los cortacircuitos pueden servir tanto de dispositivo de desconexión como de limitadores de corriente, cuando se colocan adecuadamente y se usan con sus especificaciones aprobadas. En sistemas sencillos, un interruptor que desconecte el campo FV y otro que desconecte la batería puede ser todo lo necesario.

Un inversor de 2 000 vatios en un sistema de 12 voltios puede entregar casi 200 amperios a plena carga. Los desconectores deben estar especificados para soportar esta carga y tener un poder de corte adecuado. De nuevo, un cortacircuito para continua, homologado por *UL*, puede resultar menos costoso y más compacto que un interruptor y un fusible con las mismas características.

Desconexión de la Batería

Cuando se desconecta la batería en un sistema aislado, bien manualmente o por medio de la actuación de un fusible o cortacircuito, hay que procurar que el sistema FV no quede conectado a la carga. Las cargas pequeñas pueden provocar que la tensión del campo FV aumente desde los niveles normales de carga de la batería hasta la tensión de circuito abierto, lo que acortará la vida de las lámparas y puede dañar los componentes electrónicos.

Este problema se puede evitar usando cortacircuitos multipolares y acoplados, o desconectores con fusibles acoplados, como se muestra en la Figura 15. En esta Figura se muestran dos formas de realizar la conexión. La separación de circuitos, incluyendo los desconectores y fusibles entre el regulador de carga y la batería y la batería y la carga, como se muestra en la Figura 16, se puede emplear si se desea alimentar las cargas sin que el campo FV esté conectado. Si el diseño requiere que todo el sistema se bloquee con el menor número de interruptores, los interruptores podrían ser unidades multipolares acopladas.

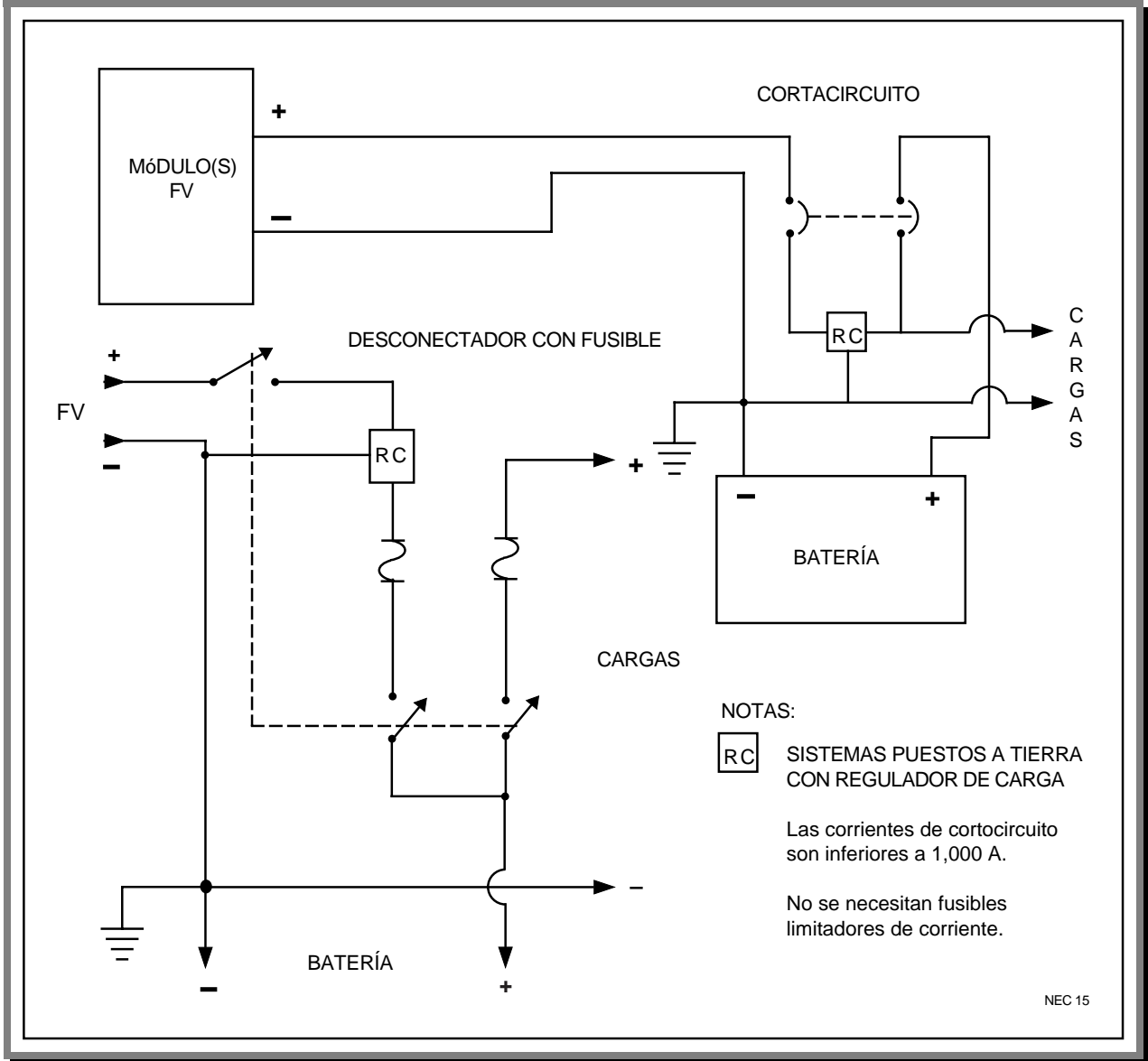


Figura 15. Desconectores en un Sistema Pequeño

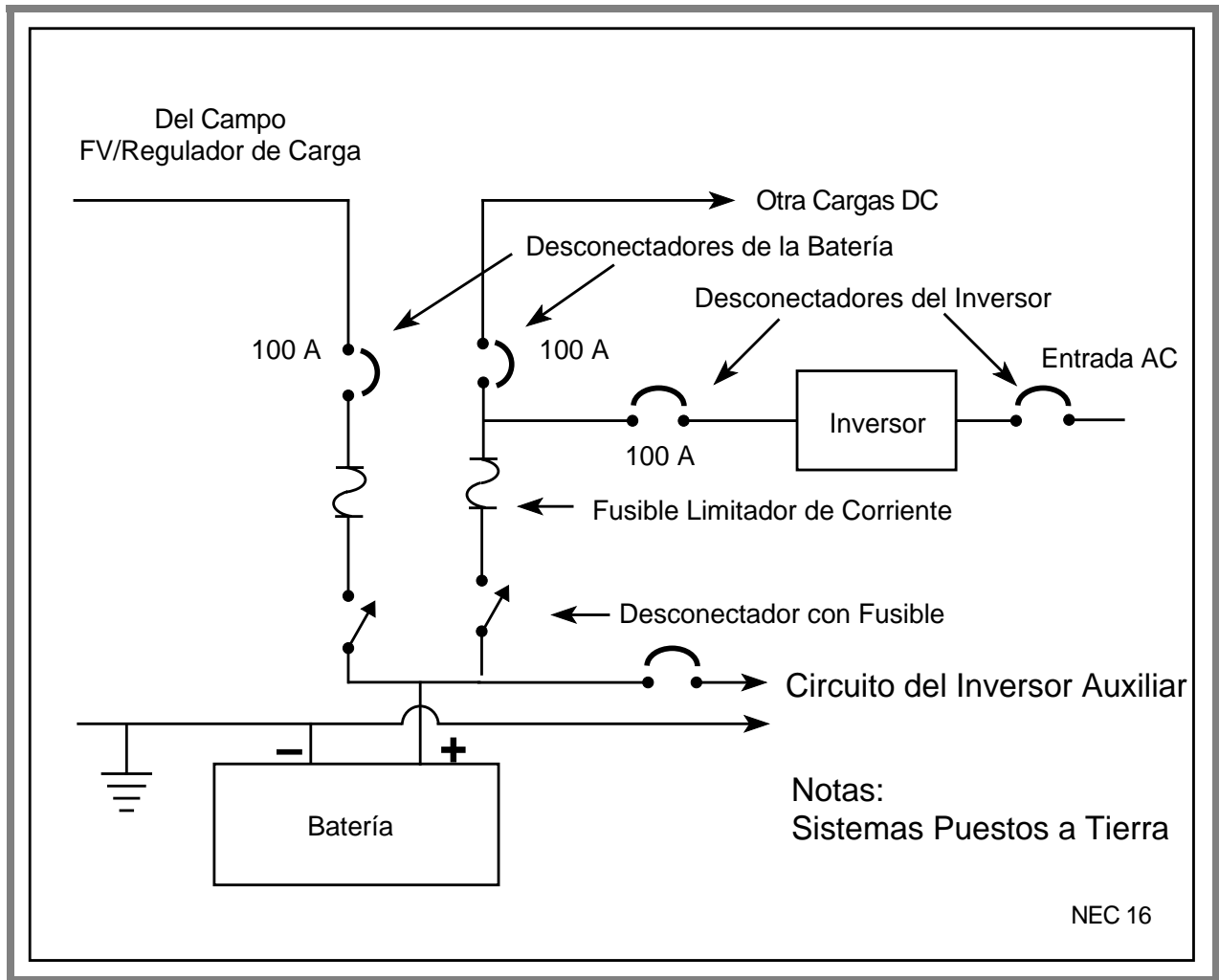


Figura 16. Desconectores de la Batería Separados

Desconexión del Regulador de Carga

En algunos reguladores de carga no está clara la secuencia en la que se conectan y desconectan del sistema. La mayoría de los reguladores de carga no responden bien al hecho de conectarse al campo FV y no conectarse a la batería. La tensión medida de la batería oscilaría rápidamente entre la tensión a circuito abierto del campo y cero, mientras el regulador intenta regular el proceso de carga inexistente. Este problema será particularmente grave en reguladores de carga compactos que no tienen monitorización externa de la batería.

De nuevo, se pueden usar interruptores multipolares para desconectar, no sólo la batería del regulador de carga, sino también el regulador de carga del campo. Probablemente, el método más seguro para reguladores de carga compactos sea tener un interruptor que desconecte del sistema tanto la entrada como la salida del regulador de carga. En sistemas más grandes, donde existe separación de la electrónica del control de carga y los elementos conmutadores, es preciso un análisis caso por caso –al menos hasta que los fabricantes de reguladores estandaricen sus productos. En la Figura 17 se muestran dos métodos de desconexión del regulador de carga.

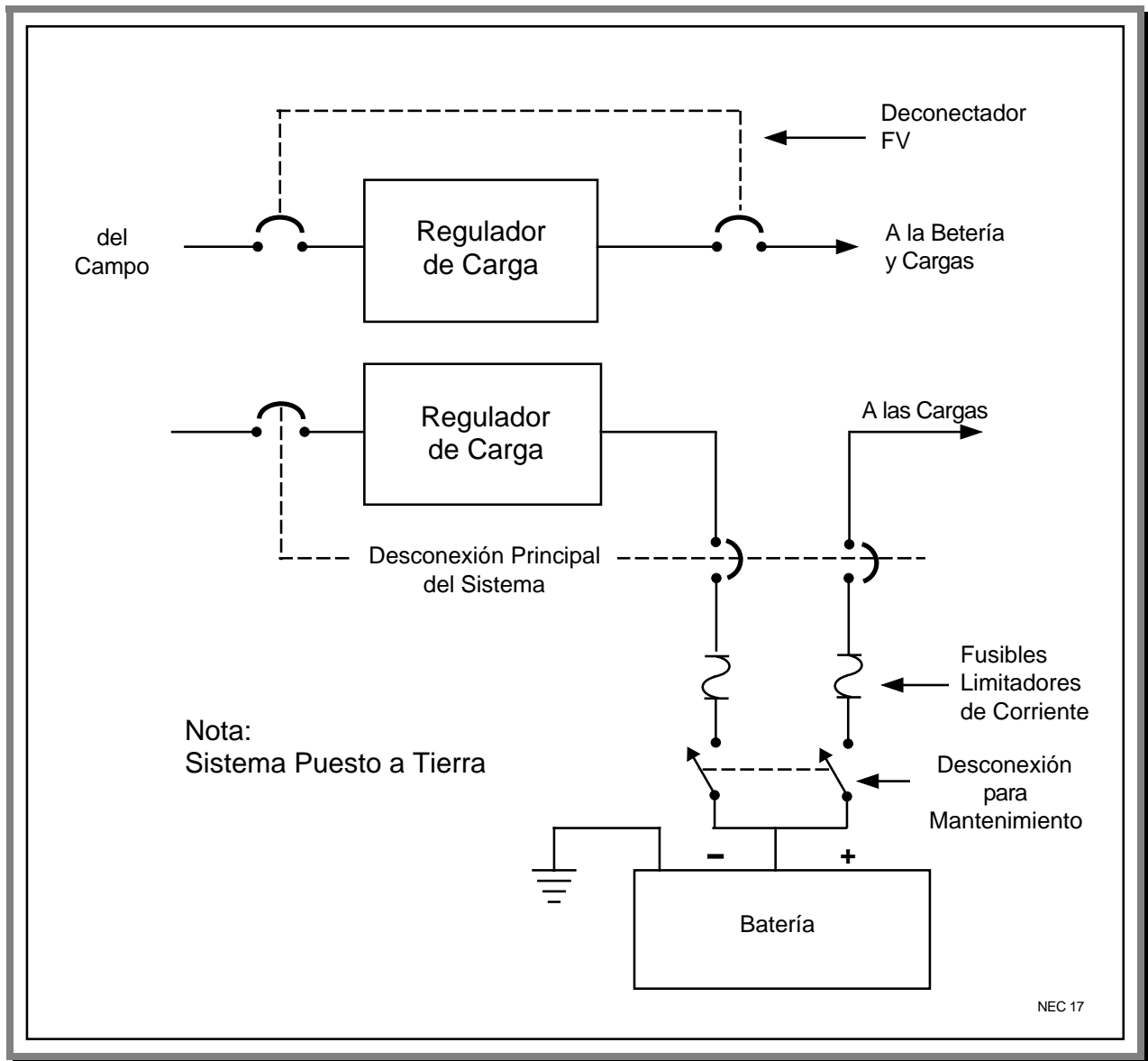


Figura 17. Desconector del Regulador de Carga

Sistemas Sin Puesta a Tierra

Los sistemas que no tienen uno de los conductores portadores de corriente puesto a tierra, **deben** tener dispositivos de desconexión y limitación de corriente en todos los conductores que no están puestos a tierra. Esto implica el uso de interruptores y limitadores bipolares para el campo FV, la batería y el inversor. El coste adicional es considerable.

Varias Fuentes de Potencia

Cuando existan varias fuentes de potencia, los desconectores **deben** agruparse e identificarse [230-72, 690-15]. No deben ser necesarias más de 6 operaciones manuales

para eliminar toda la potencia del sistema [230-71]. Estas fuentes de potencia incluyen la salida FV, el sistema de baterías, cualquier generador y cualquier otra fuente de potencia. Deberían usarse desconectores multipolares o desconectores manuales para limitar el número de operaciones manuales a 6 o menos.

CUADROS, ARMARIOS Y CAJAS

Los dispositivos de desconexión y limitación de corriente **deben** instalarse en armarios, cuadros o cajas aprobadas [240-30]. El cableado entre estos armarios debe seguir un método aprobado en el *NEC* [110-8]. **Deben** usarse abrazaderas de cables, métodos para reducir esfuerzos y tubos adecuados. Los agujeros que no se usen **deben** cerrarse con el mismo material, o similar, que el del armario [370-18]. Los armarios metálicos **deben** unirse al conductor de tierra [370-4]. No se recomienda el uso de madera u otros materiales combustibles. Los conductores pertenecientes a sistemas diferentes, como compañía eléctrica, generadores de gas, energía hidroeléctrica o eólica, **no deben** colocarse en el mismo armario, caja, tubo, etc., como si fueran conductores del sistema FV, a no ser que el armario esté dividido [690-4b]. Esta exigencia es el resultado de la necesidad de mantener los conductores ‘siempre activos’ de la fuente FV separados de aquellos que se pueden neutralizar.

Cuando se diseña un sistema de distribución FV o cuadro de control, deberían usarse cajas tipo NEMA aprobadas y dispositivos de desconexión y limitación de corriente aprobados. Los requisitos de configuración interna de estos dispositivos se establecen en los Artículos 370, 373 y 384 del *NEC* y deben cumplirse. Suelen exigirse cuadros que no tengan accesibles conductores portadores de corriente, terminales o contactos. UL también determina los estándares para la construcción interna de cuadros y armarios.

BATERÍAS

En general, deben seguirse los Artículos 480 y 690-71, 72, 73 del *NEC* para instalaciones que tengan baterías de almacenamiento. Las baterías en los sistemas FV dan lugar a varios riesgos de seguridad:

- Generación de gas hidrógeno durante la carga de las baterías
- Corrientes de cortocircuito elevadas
- Electrolito ácido o cáustico
- Posibilidad de descarga eléctrica

Gas Hidrógeno

Las baterías de plomo – ácido abiertas producen gas hidrógeno cuando se cargan a un ritmo elevado, o cuando la tensión de los terminales alcanza los 2.3 – 2.4 voltios por elemento. Incluso las baterías selladas pueden desprender gas hidrógeno bajo ciertas condiciones. Este gas, si se concentra y no se ventila adecuadamente, puede causar una explosión. La cantidad de gas generado es función de la temperatura de la batería, su tensión, la corriente de carga y el tamaño del banco de baterías. El hidrógeno es un gas ligero, de moléculas pequeñas, que puede disiparse con facilidad. Los bancos de baterías pequeños (baterías de 20 a 220 amperios · hora y 6 voltios) situadas en salas grandes o en un área bien ventilada (con corrientes de aire) no dan lugar a riesgos de importancia. Si hay un número elevado de baterías en áreas pequeñas o muy cerradas, es preciso la aireación. Los conductos de aireación pueden partir de cada elemento y discurrir hasta el exterior, pero no se recomiendan porque las llamas en una sección del conducto pueden

transmitirse fácilmente a otras partes del sistema. Deberían seguirse las instrucciones facilitadas por el fabricante de la batería.

Puede colocarse una tapa de recombinación catalítica (Hydrocap® Apéndice A) en cada uno de los elementos, para recombinar parte del hidrógeno y del oxígeno emitidos y producir agua. Si se usan estas tapas, será necesario realizar mantenimiento de vez en cuando. No es usual la necesidad de aireación forzada [Manual *NEC* 480-8]. El *NEC* exige en la Sección 440-9, el uso de extintores.

Algunos reguladores de carga están diseñados para minimizar la generación de hidrógeno, pero las baterías de plomo – ácido requieren alguna sobrecarga para cargar por completo sus elementos. Esto produce el gaseo, que debería disiparse.

En **ningún caso** deben colocarse en una sala de baterías, o directamente sobre el banco de baterías, reguladores de carga, interruptores, relés y demás dispositivos capaces de producir una chispa eléctrica. Hay que tener cuidado cuando se coloca un tubo desde una batería hermética hasta un desconectador. El hidrógeno puede circular por el tubo hasta el arco generado en los contactos del interruptor.

Salas y Contenedores de Baterías

Los sistemas con baterías pueden generar corrientes de decenas de miles de amperios cuando se cortocircuitan. Un cortocircuito en un conductor no protegido por limitadores de corriente puede fundir llaves inglesas u otras herramientas, terminales de baterías y cables, y arrojar metal fundido por la habitación. Hay que proteger los terminales de la batería y las conexiones de los cables que estén accesibles. Hay que resguardar las partes activas de las baterías. Esto generalmente significa que sólo una persona cualificada puede tener acceso a las baterías. Usar una habitación con llave, una caja de baterías u otro tipo de contenedor y algún método para impedir el acceso al personal no autorizado, reduciría el riesgo de cortocircuitos y descargas eléctricas. Puede reducirse el peligro si se colocan tapas o cinta aislante en los terminales y se usa una llave inglesa con aislamiento durante el mantenimiento; pero de esta forma podría pasar desapercibida la corrosión de los terminales. El *NEC* exige que haya un cierto espacio libre alrededor de las baterías para facilitar el mantenimiento –generalmente unos tres pies [110-16]. No deberían instalarse las baterías en áreas habitadas, ni debajo de ningún armario, cuadro o centro de carga [110-16].

Electrolito Ácido o Cáustico

En la parte superior de la batería y en las superficies cercanas, puede acumularse una fina capa de electrolito. Este material puede causar quemaduras en el cuerpo. También es conductor y en bancos de baterías de tensión elevada puede originar una descarga eléctrica. De forma periódica, hay que quitar la capa de electrolito con una solución neutralizante adecuada. Para las baterías de plomo – ácido va bien una solución diluida de sosa cáustica y agua. En los autoservicios hay neutralizantes comerciales.

Hay reguladores de carga que minimizan la dispersión del electrolito y el uso de agua, al tiempo que minimizan el gaseo de la batería. Para hacer esto, mantienen la tensión de la batería por debajo de la región de gaseo intenso, donde el volumen elevado de gas causa la pérdida del electrolito. Para la carga adecuada de la batería es preciso un cierto gaseo.

Los riesgos durante el mantenimiento se pueden minimizar usando ropa de protección, incluyendo mascarillas, guantes y delantales de goma. Sería bueno incluir en la sala de baterías un recipiente de agua y solución neutralizadora. El agua se usaría para limpiar el electrolito ácido o alcalino de la piel y los ojos.

Los pulverizadores y lubricantes contra la corrosión pueden comprarse en las tiendas de repuestos de automóviles y de baterías, lo que reduciría el mantenimiento necesario del banco de baterías. Hydrocap® Vents también reduce el mantenimiento al reducir la necesidad de reposición de agua.

Descarga Eléctrica

Las baterías de almacenamiento en los hogares deben tener tensiones inferiores a 50 voltios, a no ser que se protejan las partes activas durante el mantenimiento [690-71].

Se recomienda que se resguarden las partes activas de cualquier banco de baterías [690-71b(2)].

GENERADORES

Otros generadores de energía eléctrica como eólicos, hidroeléctricos y los de gasolina / propano / diesel, deben cumplir las exigencias del *NEC*. Estas exigencias se especifican en los siguientes Artículos del *NEC*:

Artículo 230	Servicios
Artículo 250	Puesta a Tierra
Artículo 445	Generadores
Artículo 700	Sistemas de Emergencia
Artículo 701	Sistemas de Apoyo Obligatorios
Artículo 702	Sistemas de Apoyo Opcionales
Artículo 705	Fuentes Productoras de Potencia Interconectadas

Cuando se conectan a un sistema FV múltiples fuentes de potencia alterna, debe hacerse con un interruptor de paso aprobado y especificado para el caso. Los generadores de alterna pueden proporcionar mucha más potencia que la generada por el conjunto campo FV / batería / inversor. Los interruptores de paso (externos o relés incluidos en los inversores homologados) deben ser capaces de acomodar cualquier fuente de potencia.

La puesta a tierra, tanto de los equipos como del sistema, debe analizarse detenidamente cuando se conecta un generador a un sistema. No debe haber corrientes circulando por el conductor de protección de los equipos en ningún modo de funcionamiento del sistema.

Los cortacircuitos o fusibles incluidos en el generador no son suficientes para proporcionar la protección de los conductores desde el generador hasta el sistema FV, exigida por el *NEC*. **Debe** colocarse un dispositivo limitador de corriente (y posiblemente un desconectador) externo (especificado para circuitos ramales) cerca del generador. Los conductores desde el generador hasta este limitador deben tener una ampacidad del 115% de la corriente nominal del generador [445-5]. En la Figura 18 se muestra un diagrama típico de un sistema con un generador de apoyo.

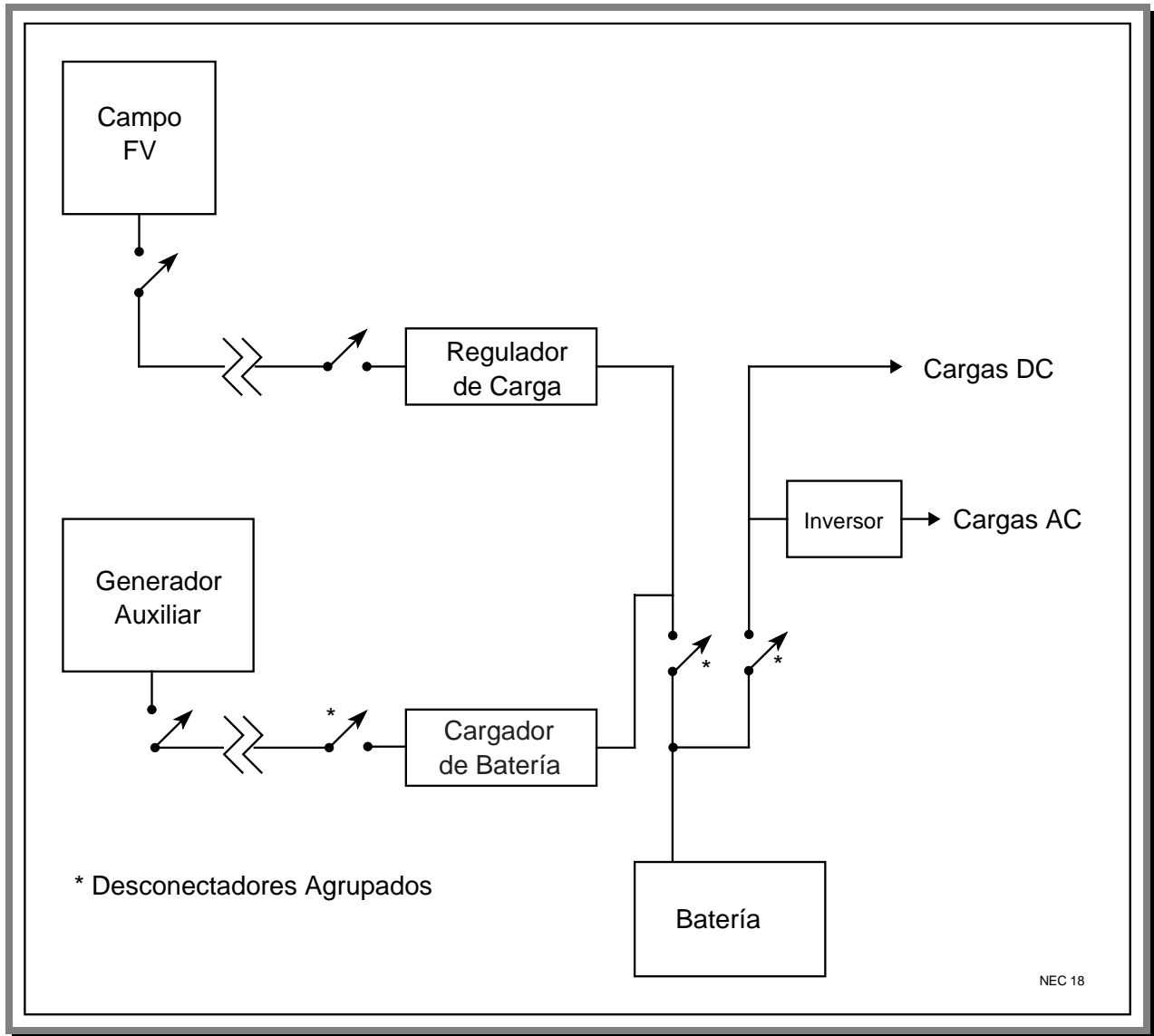


Figura 18. Desconectores para Fuentes de Energía Alejadas

REGULADORES DE CARGA

En un sistema aislado con batería de almacenamiento **debe** usarse un regulador de carga o un sistema autorregulado. El mecanismo de ajuste del estado de carga **debe** ser accesible sólo a personas calificadas [690-72].

Sólo hay un regulador de carga en el mercado que ha sido probado por *UL* u otras organizaciones de ensayo reconocidas.

La autoridad de inspección no aceptará la colocación libre de dispositivos con terminales externos accesibles a personas no calificadas. Estos reguladores de carga han de colocarse en un armario homologado, con posibilidad de ventilación. Por seguridad, suelen exigirse paneles sin contactos accesibles. Un regulador de carga típico como el

mostrado en la Figura 19, debería colocarse en un armario homologado por *UL*, de forma que ninguno de sus terminales quedara accesible. Los armarios que contengan reguladores de carga, han de tener entradas para los cables y posibilitar la conexión de un tubo, cuando sea preciso. Debe quedar espacio en el interior para doblar los cables.

Eléctricamente, los reguladores de carga deberían diseñarse con un conductor entre los terminales negativos de entrada y salida. En ese conductor no debería hacerse ninguna derivación o procesamiento de señal. Este diseño permite el uso del regulador en un sistema con toma de tierra, con el conductor de protección pasando por el regulador. Hay que revisar el diseño del regulador de carga para asegurar la adecuada puesta a tierra del sistema.



Figura 19. Regulador de Carga Típico

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

El *Código Eléctrico Nacional* se formuló cuando había abundantes provisiones de energía relativamente barata. Cuando se expandió el Código para incluir otros sistemas de energía como la FV, no se modificaron muchas secciones para tener en cuenta el reciente impulso hacia el uso eficiente de la electricidad en los hogares. En los sistemas FV aislados **puede** exigirse un servicio de continua con capacidades de 60 a 100 amperios para cumplir el Código [230-79]. **Debe** haber el mismo número de tomas para continua y circuitos de luz que sus equivalentes de alterna [220, 422]. En un sistema pequeño de uno a cuatro módulos en una cabaña aislada o una casa pequeña, estas exigencias resultan excesivas, ya que la fuente de potencia sólo puede suministrar unos pocos cientos de vatios.

La autoridad de inspección local tiene la última palabra para determinar lo que es necesario y lo que no, y lo que es seguro y lo que no. Los razonamientos pueden conducir a una libre interpretación del Código. En una residencia nueva, parece apropiado instalar un sistema completo de corriente alterna, como se exige en el *NEC*. Con esto se cumplirán los requisitos de la autoridad de inspección, la compañía financiera y la industria de seguros. Luego puede añadirse el sistema FV y su sistema de distribución de corriente continua. Si se usa un inversor, puede conectarse a la entrada del servicio de alterna. Los circuitos ramales y las tomas de continua se pueden añadir donde

se necesiten y así, todo el mundo estará contento. Si, o cuando, la energía de la red esté disponible, se puede integrar en el sistema con una dificultad mínima. Si más adelante se vende el edificio, cumplirá con las exigencias del *NEC* si tiene que inspeccionarse. El uso de centros de potencia homologados por *UL*, como el APT Power Center, facilitarán la instalación y la inspección (Apéndice A).

Square D ha obtenido la homologación *UL* de sus cortacircuitos ramales en viviendas QO, para uso en continua. Pueden usarse en instalaciones hasta 48 voltios (125% de la tensión a circuito abierto) y 70 amperios de continua. El poder de corte es 5 000 amperios, de manera que hay que usar un fusible limitador de corriente (tipo RK5 o RK1) cuando se conecten en un sistema con baterías. Los interruptores principales QOM de Square D (utilizados en la parte superior del centro de carga) **no tienen** esta homologación, de manera que debe usarse un centro de carga con conectores principales en lugar de interruptores principales (Apéndice A).

En un sistema FV pequeño (corriente de cortocircuito menor que 5 000 amperios), puede usarse un interruptor QO bipolar de Square D para desconectar el campo FV (un polo) y para desconectar la batería (un polo). En esta configuración también se puede usar un desconectador con fusible o un fusible extraíble. Esto aportaría algo más de flexibilidad, ya que los fusibles pueden tener distintas especificaciones de corriente. La Figura 15 de la página 47 muestra ambos sistemas con un único circuito de alimentación.

En un sistema con varios circuitos ramales, se puede usar el centro de carga de Square D. En sistemas de 12 voltios puede usarse como panel de distribución un centro de carga estándar para viviendas, empotrado, sin interruptor principal, de Square D. El desconectador principal tendría que ser un interruptor QO “realimentado”, y tendría que conectarse en uno de los lugares destinados a los circuitos ramales. Los interruptores realimentados **deben** identificarse como tales y **deben** ir bien sujetos [690-64b(5), 384-16(f)]. Como el centro de carga tiene dos circuitos separados (uno para cada fase), tendrán que unirse los elementos de bus para poder usar todo el centro de carga. En la Figura 20 se muestra este uso del centro de carga de Square D.

Square D ha homologado uno de sus centros de carga que usa los interruptores QO para el funcionamiento en continua. Este centro de carga puede conseguirse con un fusible limitador de corriente, para continua y homologado por *UL* en algunos proveedores. El fabricante figura en el Apéndice A.

Otra posibilidad es usar uno de los circuitos para combinar circuitos separados del campo FV y después salir del centro de carga hasta el regulador, a través de un interruptor para la desconexión del campo FV. Por último, los conductores volverían al otro circuito del centro de carga para la distribución de los circuitos ramales. Existen varias soluciones para usar interruptores de uno y dos polos para la desconexión. En la Figura 21 se presenta un ejemplo.

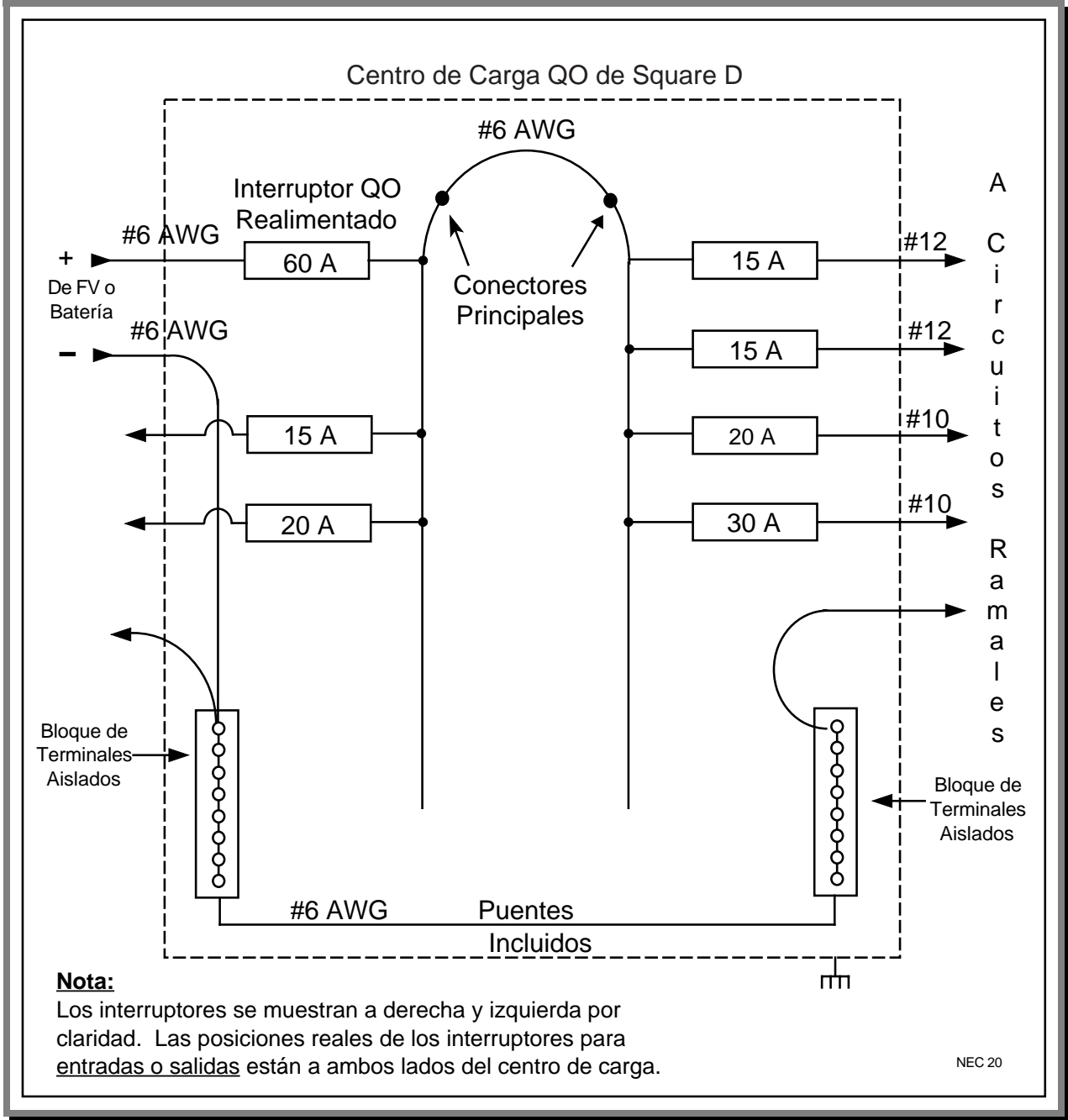


Figura 20. Centro de Carga de 12 V DC

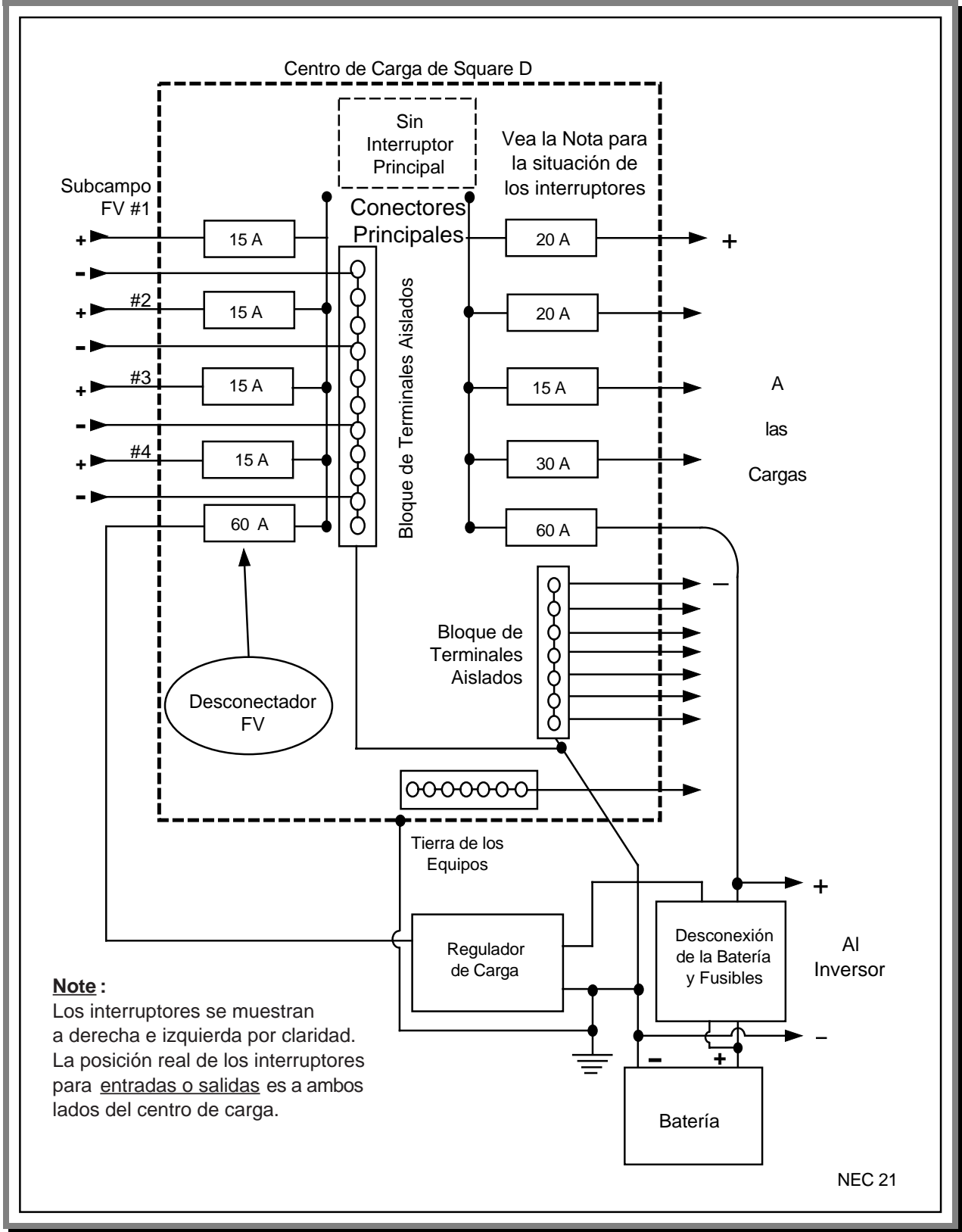


Figura 21. Centro de Carga y Caja de Conexión de 12 V DC

Cableado Interior y Tomas de Corriente

El cableado interior de un sistema FV **debe** cumplir con las normas del *NEC*. Hay que usar cable aislado no metálico (tipo NM – “Romex”) y **debe** instalarse de la misma forma que el cable de circuitos ramales de alterna [300, 690-31a]. **No debe** usarse el conductor desnudo de tierra en este cable para llevar corriente y no se puede usar como conductor negativo común en sistemas combinados de 12/24 voltios [336-30b]. No se permiten los conductores al aire –**deben** instalarse bajo tubo [300-3(a)]. Los conductores que lleven la misma corriente (corrientes positivas y negativas de la batería) deben instalarse bajo el mismo tubo o cable para impedir el aumento de las inductancias del circuito, que darían lugar a esfuerzos eléctricos adicionales en los dispositivos de desconexión y limitación de corriente [300-3(b)]. Los conductores de tierra de los equipos, en circuitos de continua, tienen que ir separados de los conductores portadores de corriente [250-57(b) Ex2].

Las tomas de corriente usadas para continua deben ser diferentes de las usadas para los demás servicios del sistema [210-7f, 551-20f]. Las tomas deben soportar al menos 15 amperios y deben ser del tipo con terminal de tierra [210-7a, 720-6]. Hay muchos estilos diferentes de tomas homologadas que cumplen este requisito. Estas exigencias pueden cumplirse en la mayoría de las instalaciones usando los tipos de NEMA con tres conductores para 15, 20 o 30 amperios y 240 voltios, 6-15, 6-20 y 6-30, para las tomas de continua de 12 voltios. Para 24 voltios pueden usarse los tipos NEMA de 125 voltios con conectores de cierre, L5-15 o L5-20. El tipo NEMA FSL-1 es un conector de cierre de 30 amperios y 28 voltios, pero no es fácil de conseguir. En la Figura 22 se muestran algunas de las configuraciones disponibles. Los enchufes tipo encendedor, comunes en los aparatos “PV” y “RV”, **no** cumplen las exigencias del *Código Eléctrico Nacional* y no pueden usarse.

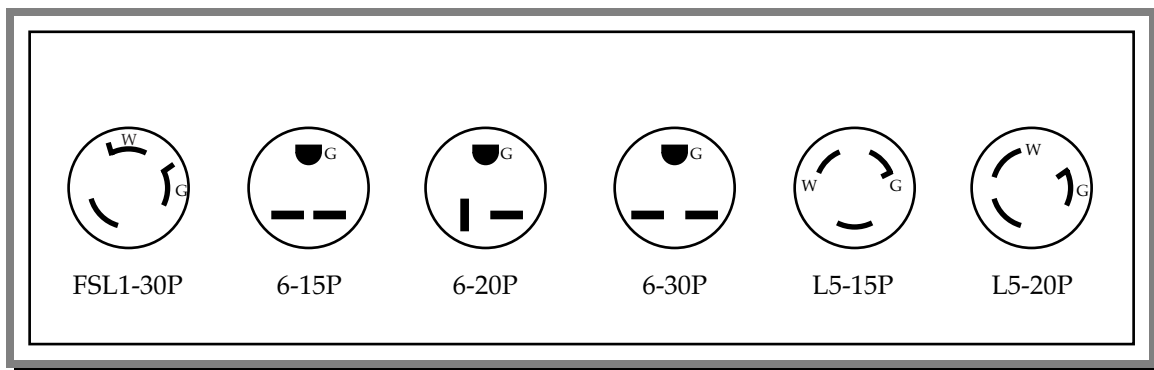


Figura 22. Configuraciones de Enchufe

No se permite usar el tercer conductor, o conductor de tierra, de una toma de tres conductores, para llevar las corrientes negativas de retorno comunes en un sistema combinado de 12/24 voltios. Este terminal debe usarse para la protección de los equipos y no debe llevar corriente salvo en situaciones de fallo o falla [210-7].

Un fusible o un cortacircuito de 30 amperios que proteja un circuito de alimentación (con conductores del calibre No. 10 AWG) **debe** usar tomas de 30 amperios. Las tomas de 15 y 20 amperios **no deben** usarse en este circuito de 30 amperios [Tabla 210-21(b)(3)].

Detectores de Humo

Muchos códigos de la edificación exigen que el cableado de los detectores de humo e incendios se haga directamente sobre el cableado de alterna de la casa. En un sistema que no tenga inversor, se le pueden ofrecer al inspector dos soluciones. La primera es usar un detector alimentado por una batería de 9 voltios u otra tensión. La segunda es usar un regulador de tensión para reducir la tensión del sistema FV hasta 9 voltios, u otro nivel requerido por el detector. El regulador tiene que poder soportar la tensión en circuito abierto del sistema FV y suministrar la corriente necesaria para la alarma del detector.

En los sistemas con inversor, en algunas unidades el detector puede forzar el encendido del inversor, desperdiciando potencia innecesariamente. En otras unidades, la alarma puede que no consuma suficiente corriente como para encender el inversor y, por tanto, sonaría con un volumen reducido o, en algunos casos, no sonaría. Podrían usarse inversores pequeños dedicados, pero se desperdiciaría potencia y se reduciría la fiabilidad si pueden conseguirse detectores para continua.

Algunos estados ahora exigen detectores que estén conectados a la línea de alterna y tengan una batería de seguridad. Las unidades que satisfacen este requisito también podrían alimentarse con corriente continua de la batería y por un elemento principal.

Dispositivos de Interrupción de Falla a Tierra

Algunos dispositivos de interrupción de falla a tierra en alterna (DIDT) no funcionan de manera fiable a la salida de los inversores de onda no senoidal. Si el DIDT no funciona cuando se prueba, debería verificarse que el conductor neutro (de color blanco y puesto a tierra) de salida del inversor está unido solidariamente al conductor de tierra (de color verde o desnudo) del inversor, en la forma requerida. Si existe esta unión y el DIDT no responde adecuadamente, puede recurrirse a otras soluciones. Una solución puede consistir en cambiar de marca de DIDT. Una medida directa de un falla a tierra intencionado, puede indicar que se necesite una corriente interna de prueba ligeramente superior a 5 miliamperios para disparar el DIDT. El inspector puede aceptarlo. Algunos inversores tienen un transformador ferro-resonante para producir una forma de onda más adecuada para usar con DIDT, pero el consumo en ausencia de carga puede ser lo suficientemente elevado como para justificar un interruptor manual. Para alimentar los circuitos que precisen protección con DIDT puede usarse un inversor de onda senoidal.

Interruptores Interiores

Lo interruptores especificados sólo para alterna, **no deben** usarse en circuitos de continua [380-14]. En la mayoría de los establecimientos de electricidad pueden conseguirse interruptores con chasquido de AC-DC de uso general, y en apariencia son similares a los “interruptores silenciosos” normales. También podrían usarse los interruptores electrónicos homologados por *UL*, que tengan las especificaciones adecuadas para continua; pero su apariencia no estándar puede obligar que se faciliten al inspector las especificaciones de homologación de *UL*.

Ha habido algunos fallos de los interruptores de chasquido para continua cuando se han usado como desconectores del campo FV y de la batería. Si estos interruptores se usan en sistemas de 12 y 24 voltios y no se accionan con frecuencia, pueden oxidarse y corroerse internamente y no funcionar bien. La activación periódica bajo carga de los interruptores, los mantendrá limpios.

Cableado Múltiple de los Circuitos Ramales

Los sistemas FV aislados e híbridos suelen estar conectados a un edificio, estructura o casa donde ya existe un cableado de alterna para 120/240 voltios y tienen una entrada normal de servicio y un centro de carga.

En estas estructuras puede haber uno o más circuitos que el Código Eléctrico Nacional (NEC) denomina circuitos ramales con cableado múltiple. Ver Sección 100 del NEC, “Circuitos ramales, Cableado Múltiple”. Estos circuitos tienen una alimentación de tres conductores además del conductor de tierra que parte del centro de carga de 120/240 voltios y va hasta las cargas de la estructura, donde se separan dos circuitos ramales de 120 voltios. Cada circuito de alimentación usa uno de los conductores de 120 voltios, no puesto a tierra, de la alimentación de 120/240 voltios y el conductor común neutro.

En un sistema conectado a la red, o con un par de inversores apilados de 120/240 voltios, donde la fuente de potencia de 120/240 voltios consiste en dos líneas desfasadas 180 grados, la corriente en los circuitos ramales con cableado múltiple, por el neutro común, se limita a la diferencia de corrientes de las cargas no equilibradas. Si las cargas en cada circuito de alimentación fueran iguales, entonces la corriente por el neutro común sería nula.

Cuando un inversor de 120 voltios está conectado a los dos conductores activos del centro de carga de 120/240 voltios, puede aparecer una sobrecarga en el conductor neutro. Esta es una práctica común en los sistemas FV aislados. En este caso, la tensión de los dos conductores activos de 120 voltios está en fase. En los circuitos ramales con cableado múltiple, las corrientes de retorno de cada uno de los circuitos ramales, por el neutro común, se suman. Se muestra más adelante un croquis del circuito con cableado múltiple. Hay más información en las Secciones 100, 210-4 , 240-20(b) y 300-13(b) del NEC y en el Manual del NEC.

Cada circuito de alimentación se protege en el centro de carga con un interruptor en el conductor no puesto a tierra. El conductor neutro suele ser del mismo tamaño que los conductores no puestos a tierra y se puede sobrecargar con las corrientes de retorno en fase. Los cortacircuitos soportarán tanta corriente como la ampacidad de los conductores protegidos, pero cuando los dos circuitos ramales se cargan a más del 50%, el conductor neutro común, no protegido, se **sobrecarga y puede llevar hasta el doble de la corriente para la que fue especificado.**

Existe un riesgo seguro de seguridad e incendio. Todas las instalaciones FV aisladas que usen inversores conectados en la entrada de servicio a los conductores no puestos a tierra, deberían revisarse para una configuración de circuitos ramales con cableado múltiple.

El NEC exige que en algunos casos, pero no todos, los circuitos ramales con cableado múltiple usen un interruptor bipolar, de manera que si ocurre una falla o durante el mantenimiento, los dos circuitos queden sin tensión al mismo tiempo. Este interruptor bipolar especificado para 15 o 20 amperios puede ser un indicativo de que se han usado circuitos ramales con cableado múltiple. Se suelen usar cortacircuitos normales en circuitos de 240 voltios para calentadores de agua, secadoras, etc.

En el centro de carga puede observarse un cable de tres conductores (conductores de calibre AWG 14 o 12) con el conductor desnudo de tierra saliendo del centro de carga. Este se puede conectar a un circuito de alimentación con cableado múltiple. Los cortacircuitos conectados a este cable y las salidas de este cable deberían localizarse para determinar la presencia o ausencia de un circuito de alimentación con cableado múltiple. Para tratar este problema, se recomiendan las siguientes opciones:

- Desconectar o volver a cablear los circuitos con cableado múltiple como circuitos separados (“tendidos”) desde el centro de carga.
- Conectar los dos conductores “activos” (no puestos a tierra) del circuito de alimentación con cableado múltiple a un único interruptor especificado con la ampacidad del conductor neutro.
- Limitar la salida del inversor con un cortacircuito especificado con la ampacidad del conductor neutro (normalmente 15 amperios). Colocar un aviso cerca de este interruptor que diga que no debe aumentarse la especificación.

En sistemas donde los circuitos ramales con cableado múltiple usen inversores de (120/240 voltios), debería colocarse un aviso cerca de los inversores, advirtiendo que el uso de uno solo (quitar un inversor para mantenimiento) puede causar la sobrecarga de los circuitos. La corriente máxima del inversor tiene que limitarse a la ampacidad del conductor neutro común.

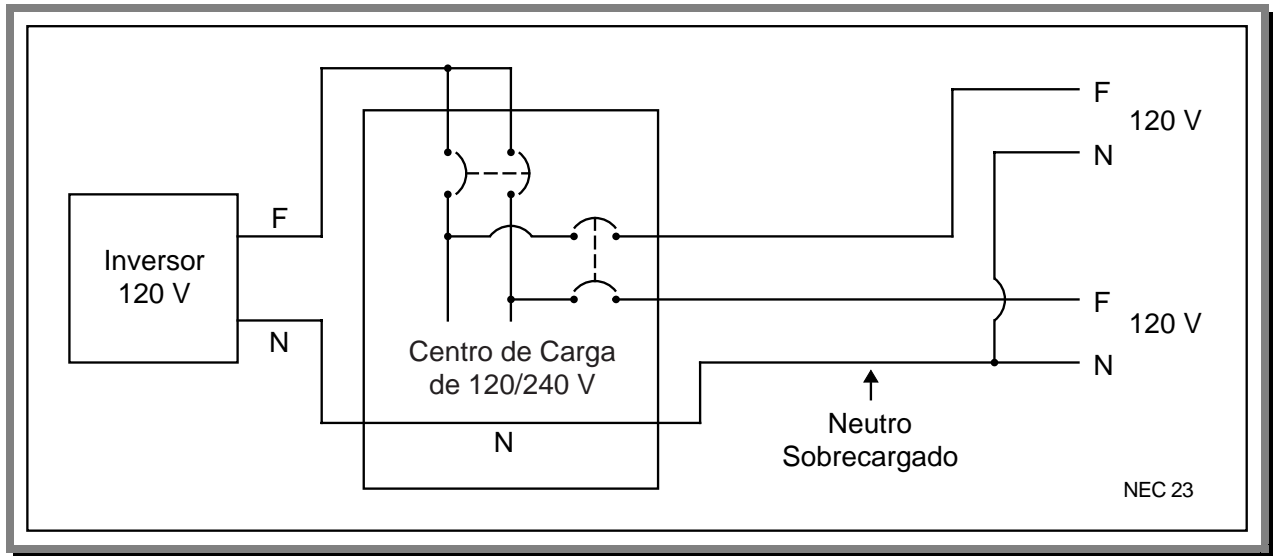


Figura 23. Diagrama de un Circuito Ramal con Cableado Múltiple

En todos los sistemas (con cableado múltiple o sin él), el neutro del centro de carga debe estar especificado para una corriente superior a la de salida del inversor. En otras palabras, no conecte un inversor con 33 amperios de salida, a un centro de carga especificado para 20 o 30 amperios.

ETIQUETAS Y AVISOS DEL SISTEMA

Fuente de Potencia Fotovoltaica

Debe colocarse una etiqueta permanente cerca del desconectador del campo FV que contenga la siguiente información: [690-52]

- Corriente de Funcionamiento (Corriente del sistema en el punto de máxima potencia)
- Tensión de Funcionamiento (Tensión del sistema en el punto de máxima potencia)
- Tensión a Circuito Abierto
- Corriente de Cortocircuito

Estos datos permitirán al inspector verificar la ampacidad de los conductores y la especificación del limitador de corriente adecuados.

Sistemas de Potencia Múltiple

Los sistemas con múltiples fuentes de potencia como FV, generador de gas, eólica, hidroeléctrica, etc., **deben** tener una placa o guía permanente que muestre las interconexiones [705-10]. No son necesarios diagramas, pero pueden ser de utilidad y deberían colocarse cerca de los desconectores del sistema.

Interruptores o Cortacircuitos

Si un interruptor o un cortacircuito tiene todos sus terminales bajo tensión cuando esté abierto, debería colocarse una etiqueta cerca indicando: [690-17]

ATENCIÓN – PELIGRO DE DESCARGA ELÉCTRICA – NO TOCAR –
TERMINALES BAJO TENSIÓN EN POSICION ABIERTA

General

Todos los equipos que puedan ser abiertos por personas no cualificadas deberían ir marcados con avisos:

ATENCIÓN – RIESGO DE DESCARGA ELÉCTRICA – TENSIONES Y
CORRIENTES PELIGROSAS – NO CONTIENE PARTES MANTENIDAS POR EL
USUARIO – CONTACTAR CON PERSONAL DE MANTENIMIENTO
CUALIFICADO PARA ASISTENCIA

Los contenedores de baterías, cajas o salas, también deberían llevar avisos:

ATENCIÓN – RIESGO DE DESCARGA ELÉCTRICA – TENSIONES Y
CORRIENTES PELIGROSAS – GAS EXPLOSIVO – NO PROVOCAR CHISPAS O
LLAMAS – NO FUMAR – QUEMADURAS POR ÁCIDO – LLEVAR ROPA DE
PROTECCIÓN DURANTE EL MANTENIMIENTO

INSPECCIONES

Contar con el inspector lo antes posible en las etapas de planificación del sistema, iniciará un proceso que proporcionará la mejor oportunidad de obtener un sistema seguro y duradero. Se recomiendan los siguientes pasos.

- Establecer una relación de trabajo con un contratista eléctrico o electricista local para determinar lo necesario para obtener los permisos y pasar las inspecciones.
- Contactar con el inspector y revisar los planos del sistema. Solicitar consejos y recomendaciones del inspector.
- Obtener los permisos necesarios.
- Contar con el inspector en los procesos de diseño e instalación. Proporcionar información cuando sea necesario. Tener diagramas de conexión y descripciones completas de todo el equipo no homologado y no estándar disponible.

SEGURO

La mayoría de las compañías aseguradoras no están familiarizadas con los sistemas de energía fotovoltaica. Sin embargo, están dispuestas a añadir el coste del sistema a la póliza del propietario si entienden que no representa un riesgo de responsabilidad adicional. Pueden exigir una descripción del sistema. Suele ser necesario probar que el campo FV está sujeto firmemente al techo o al suelo. Hay que obtener los permisos y realizar las inspecciones del sistema si también se le exige a los demás sistemas de energía eléctrica de la vecindad.

Algunas compañías no aseguran hogares que no estén conectados a la red, porque no hay potencia suficiente para el bombeo de la gran cantidad de agua necesaria para sofocar un incendio. En estos casos, puede ser necesario instalar un sistema contra incendios y de suministro de agua que cumpla sus requisitos. Una bomba de continua de gran capacidad y un depósito puede ser suficiente.

Al igual que ocurre con el inspector eléctrico, la formación y una descripción completa del sistema, destacando las características de seguridad y el cumplimiento del código, facilitará la obtención del seguro adecuado.

APÉNDICE A

Proveedores de Equipos que Cumplen los Requisitos del *Código Eléctrico Nacional*®

Varios distribuidores y comerciantes de sistemas FV disponen de los equipos necesarios para cumplir los requisitos del *NEC*. Estos proveedores adicionales se presentan como proveedores especializados.

CONDUCTORES

En los distribuidores de material eléctrico y en establecimientos de suministros para la vivienda puede conseguirse cable multipolar estándar como el Cable Aislado No Metálico 10-2, con conductor de tierra (NM y NMC), Alimentación Bajo Tierra (UF), Entrada del Servicio (SE), Entrada Bajo Tierra del Servicio (USE), cable unipolar de gran tamaño (calibre 8 AWG), conductores de tierra sin aislamiento, y muchos estilos de cable para viviendas como, el THHN.

El cable USE-2 de mayor calidad se homologará por *UL* y también tendrá las marcas de XLP (o XLPE), RHW-2 y 600V. Los cables flexibles USE y RHW de tamaños mayores (1 / 0 –250 kcmil) y el cable unipolar con hilos USE de calibre 8, 10 y 12, se pueden obtener en algunas tiendas de suministros eléctricos y distribuidores de cables, incluyendo:

Anixter Bros.
2201 Main Street
Evaston, Illinois 60202
800-323-8166 para el distribuidor más cercano

Para los sistemas conectados a la red que requieren cables con especificación de tensión superior a 600 voltios, debe hacerse un pedido especial del cable. Hay cables aislados con goma, con un aislamiento de hasta 2 000 voltios. Cuando se usen para las interconexiones del módulo, deben llevar las marcas RHW-2 y XLP y ser resistentes a la luz del sol. Los siguientes fabricantes pueden suministrar este cable.

American Insulate Wire
36 Freeman Street
P.O: Box 880
Pawtucket, RI 02862
401-726-0700

The Okonite Company
PO Box 340
Romsey, NJ 07446
201-825-9026

MATERIAL DIVERSO

En el siguiente proveedor pueden obtenerse tuercas, pernos, tornillos y otros materiales de acero inoxidable, terminales para grimpar, aislados y sin aislar, terminales para batería, conectores de cobre para cable pesado, cable para baterías, rollos de cable resistente al agua, tubo ignífugo y más.

Chesapeake Marine Fasteners
10 Willow Srteet
P.O. Box 6521
Annapolis, Maryland 21401
800-526-0658

Tarifa de precios disponible

La compañía que se nombra a continuación, fabrica prensaestopas de plástico que se adaptan al hueco eléctrico estándar de 1/22" (diámetro de 7/8"). Estos prensaestopas herméticos son necesarios para los antiguos módulos ARCO y para los módulos Solarex.

Actuales, entre otros. Las versiones unipolares no se encuentran con facilidad y los tipos de metal son muy caros. Puede solicitarse el catálogo 3224 (para calibre AWG 10) o 3231 (para cables más grandes) con información sobre el producto. La compañía también fabrica rollos para cable negro resistente a los rayos UV y conectores resistentes de cobre, al igual que otros productos que pueden resultar de utilidad.

Heyco Molded Products, Inc.
Box 160
Kenilworth, New Jersey 07033
800-562-4182 o 908-245-0033

Sólo compras al por mayor

FUSIBLES PARA CONTINUA

Se pueden usar fusibles de 15, 20, 30 o más amperios, para la protección contra sobrecargas en circuitos ramales, según sea la ampacidad del conductor y la carga. Los tamaños superiores (100 amperios y más) se usan en las salidas de la batería para limitación de corriente y protección contra sobrecargas. Las siguientes empresas, entre otras, fabrican fusibles para continua, homologados por *UL*:

Bussman
P.O. Box 14460
St. Louis, MO 63178-4460
314-527-3877
314-537-1270 (Asistencia Técnica)

Gould Inc.
374 Merrimac Street

Newburyport, MA 01950
508-462-6662

Littlefuse
Power Fuse Division
800 E. Northwest Highway
Des Plaines, Illinois 60016
(708) 824-1188
800-TEC FUSE (Asistencia Técnica)
800-227-0029 (Atención al Cliente)

Los siguientes fusibles se pueden usar para protección contra sobrecorrientes y limitación de corriente en los circuitos de la batería y alimentación. Si se prevén transitorios en los circuitos FV, estos fusibles también se pueden usar en esos lugares.

Descripción del fusible	Tamaño	Fabricante	Mfg #
125 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	.1-600 amperios	Bussmann	FRN-R
125 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	.1-600 amperio	Littlefuse	FLNR
300 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	.1-600 amperios	Bussmann	FRS-R
300 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	.1-600 amperio	Gould	TSR-R
300 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	.1-600 amperio	Littlefuse	FLSR
600 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	.1-600 amperios	Littlefuse	IDSR
600 voltios, dc, RK5 con retardo, limitador de corriente	70-600 amperios	Gould	TRS70R-600R

Los siguientes fusibles tendrían que usarse para la protección de los circuitos fuente del sistema FV si no se prevén problemas con los transitorios. También se pueden usar dentro de los paneles de control para proteger los relés y otros equipos.

Descripción del fusible	Tamaño	Fabricante	Mfg #
Fusible pequeño, rápido, limitador de corriente	.1 30 A	Bussmann	KLM*
Fusible pequeño, rápido, limitador de corriente	.1 30 A	Gould	ATM**
Fusible pequeño, rápido, limitador de corriente	.1 30 A	Littlefuse	KLK-D**

* Reconocido por *UL*
** Homologado por *UL*

Portafusibles (Véase también Desconectadores con Fusibles)

Cada fabricante de fusibles hace bloques de fusibles que se adaptan a los valores de tensión y corriente del fusible seleccionado.

Marathon Special Projects también hace portafusibles adecuados. Hay que solicitar la información y los nombres de los distribuidores de Clase R y Clase M (portafusibles pequeños). La empresa también fabrica bloques de distribución de potencia para paneles de control.

Marthon Special Products
P.O. Box 468
Bowling Green, Ohio 43402
419-352-8441

Desconectadores con Fusibles (Véase también Cortacircuitos)

Como los fusibles no pueden tener tensión en sus extremos mientras se está realizando el mantenimiento, se puede colocar una combinación de interruptor y fusible en un solo armario para cumplir algunos requisitos, sino todos.

Interruptores con fusibles para interior, 250 voltios dc –series JN y JF
Interruptores con fusibles para exterior, 250 voltios dc –series JN y JF

Siemens I-T-E
Siemens Energy & Automation, Inc
3333 State Bridge Rd.
Alpharetta, Georgia 30202
404-751-2000

Llame para consultar la oficina regional de ventas más cercana que puede indicarle un distribuidor

Interruptores con fusibles para interior
250 voltios-dc –series H22x, H32x y H42x
600 voltios-dc –series H26x y H36x

Interruptores con fusibles para exterior
250 voltios-dc –series H22xR, H32xR y H42xR
600 voltios-dc –series H26xR y H36xR

Square D Company
800-634-2003 para el más cercano
Square D electrical supply distributor

Rainshadow Solar instala un fusible limitador de corriente en un centro de carga de Square D para continua, homologado por *UL*.

Rainshadow Solar
P.O. Box 242
Guthrie Cove Road
Orcas, WA 98280
206-376-5336

Ananda Power Technologies fabrica una línea de centros de potencia homologados por *UL* (circuitos fuente de continua, regulador de carga y circuitos de carga) con numerosas opciones.

Ananda Power Technologies, Inc.
14618 Tyler Foote RD #143
Nevada City, CA 95959
916-292-3834

Boltswitch, Inc., fabrica desconectadores con fusibles extraíbles para continua, para aplicaciones con corrientes elevadas. Contacte con fábrica para aplicaciones.

boltswitch®, inc.
6107 West Lou Avenue
Crystal Lake, IL 60014
815-459-6900

CORTACIRCUITOS

Cortacircuitos QO de Square D (interruptores de alterna comunes para viviendas). Homologados por *UL* a 5 000 AIC a 48 voltios dc, 1 y 2 polos, 10-70 amperios; 3 polos, 10-60 amperios

Cortacircuitos FA de Square D; tensiones de 125 y 250 voltios, varias intensidades

Armarios para interruptores QO:

Unidades de 2 y 3 polos
QO21xxBN, QO3100BN para interior
QO21xxBNRB, QO3100BNRB estancos

Se puede usar cualquiera de los centros de carga con cortacircuitos QO de Square D sin interruptores principales –en su lugar se precisan conectores principales.

Square D Company
800-634-2003 para el más cercano
Square D electrical distributor

Heinemann fabrica una línea completa de cortacircuitos suplementarios para continua, homologados y reconocidos por *UL*, pero hay que colocarlos en armarios hechos a medida. (el metal lo perfora el instalador).

- CD-CE-CF 5 000 AIC a 125 voltios dc, 15-110 amperios
- 25 000 AIC disponible bajo pedido especial. Pueden solicitarse unidades con carcasa de poliéster, remaches conformados y homologadas por *UL*.
- GH 10 000 AIC a 250 voltios dc, 15-100 amperios
- GJ 10 000 AIC a 125 voltios dc, 100-250 amperios
- GJ1P 10 000 AIC a 160 voltios, 25 000 AIC a 65 voltios dc, 100-700 amperios

Eaton Corporation
Heinemann Products
2300 Northwood Drive
Salisbury, Maryland 21801
410-546-9778

Llame para consultar el catálogo y el proveedor más próximo
Se ofrecen aplicaciones de ingeniería

Philips Technology (antigua AIRPAX) también fabrica una línea completa de cortacircuitos para continua, homologados y reconocidos por *UL*, pero hay que colocarlos en armarios hechos a medida.

Philips Technology
P.O. Box 520
Cambridge, Maryland
301-228-4600

Llame para consultar el catálogo y el proveedor más próximo
Se ofrecen aplicaciones de ingeniería

Rainshadow Solar comercializa un interruptor de circuito de Heinemann de 250 amperios, en un armario adecuado para usar con inversores de 24 voltios y 4 000 vatios

Rainshadow Solar
P.O. Box 242
Guthrie Cove Road
Orcas, WA 98280
206-376-5336

ARMARIOS Y CAJAS DE CONEXIONES

En la mayoría de los establecimientos de suministros eléctricos pueden encontrarse armarios y cajas de conexiones de propósito general para interior y exterior (estancas). Estos dispositivos suelen tener orificios para la entrada del cable y el distribuidor tiene las grapas y / o abrazaderas necesarias para cables. Hay algunos armarios de interior para montar cuadros, ya que son armarios de puertas con bisagras.

Si se usan en el exterior, todos los armarios, abrazaderas y accesorios deben estar homologados para uso exterior. Para poder ver el interior, hay armarios NEMA 4x hechos de plástico claro transparente.

HIDROCAPS

En Hidrocap Corp. y algunos distribuidores FV, pueden conseguirse Hidrocaps® Vents hechos a medida. Los extintores son opcionales.

Hydrocap
975 NW 95 St.
Miami, FL 33150
305-696-2504

VARISTORES

Delta fabrica una línea completa de varistores de óxido de silicio, a partir de 300 voltios, que son de utilidad en sistemas de baja tensión para recortar los picos de sobretensiones.

Ananda Power Technologies vende una unidad Delta para sistemas de baja tensión.

Delta Lighting Arrestors Inc.
P.O. Box 1084
Big Spring, TX 79721
915-267-1000

APÉNDICE B

Requisitos del *NEC* y de *UL* ¿Demasiado conservadores?

Introducción

A medida que la industria de energía fotovoltaica (FV) alcanza una posición destacada en la generación de energía eléctrica, algunos cuestionan los requisitos, aparentemente conservadores y redundantes, establecidos por Underwriters Laboratories (*UL*) y el *Código Eléctrico Nacional (NEC)*, para la seguridad del sistema y de la instalación. Este breve discurso intentará tratar estos asuntos y destacar los aspectos de los sistemas FV que mandan los requisitos.

El *Código Eléctrico Nacional (NEC)* está escrito con el requisito de que todos los equipos e instalaciones cumplan con las normas de seguridad de la autoridad que tenga jurisdicción (AHJ) para reforzar los requisitos del *NEC* en un lugar concreto. La AHJ en seguida admite que no dispone de recursos para verificar la seguridad del equipo en cuestión y confía exclusivamente en el ensayo y la homologación del equipo llevados a cabo por un laboratorio de ensayos independiente como Underwriters Laboratories (*UL*). La AHJ también confía en los requisitos del cableado especificados en el *NEC*, para garantizar instalaciones seguras y el uso de equipo homologado.

Los estándares publicados por *UL* y el material del *NEC* son aceptados por ingenieros y técnicos de la industria de material eléctrico, profesionales de la construcción eléctrica, laboratorios nacionales, comunidad científica y asociaciones de inspectores eléctricos. Los estándares *UL* son de origen técnico, con requisitos muy específicos para la construcción y ensayo de equipos, por motivos de seguridad. A su vez, están coordinados con los estándares de construcción publicados por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). El *NEC* no está escrito de forma intencionada en un lenguaje técnico, para que los electricistas, contratistas eléctricos e inspectores eléctricos, lo entiendan y apliquen fácilmente.

El uso de equipo homologado (por *UL* u otro laboratorio) asegura que el equipo reúne unos estándares de seguridad bien establecidos. La aplicación de los requisitos del *NEC* asegura que el cableado de los equipos es el adecuado y que se usan de forma que el sistema está prácticamente libre de riesgos. El uso de equipos homologados y la instalación de equipos de acuerdo con las exigencias del *NEC*, contribuyen en gran medida, no sólo a la seguridad del sistema, sino también a su durabilidad, rendimiento y tiempo de vida.

Áreas Discutidas

El *NEC* no presenta muchas especificaciones técnicas muy detalladas. Por ejemplo, el término “valor de salida” se utiliza en varios casos con respecto al equipo FV. No se especifican las condiciones bajo las que se determina la medida. Las definiciones de las condiciones de medida (como las Condiciones Normales de Ensayo (STC) para módulos FV) figuran en los estándares *UL* que establecen el valor de salida. Este procedimiento es apropiado debido al nivel de escritura del *NEC* y a la falta de equipos de ensayo al alcance del usuario del *NEC*.

Estándares *UL*

El estándar *UL 1703* exige que las instrucciones de los módulos FV homologados contengan requisitos específicos para la instalación de dichos módulos. El valor (en Condiciones Normales de Ensayo) de tensión a circuito abierto y el valor de la corriente de cortocircuito de los módulos FV cristalinos, han de multiplicarse por factores del 125% antes de realizar los cálculos para los conductores y los limitadores de corriente.

El factor de 125% en la tensión a circuito abierto (V_{oc}) es necesario porque, a medida que la temperatura de funcionamiento del módulo disminuye, V_{oc} aumenta. El valor de V_{oc} se mide a una temperatura de 25°C y aunque la temperatura de funcionamiento es de 40-50°C cuando la temperatura ambiente ronda los 20°C, no hay nada que impida que temperaturas ambiente bajo cero, den lugar a temperaturas de funcionamiento muy por debajo de la condición normal de ensayo de 25°C.

Un módulo de silicio cristalino típico tiene un coeficiente de tensión de $-0.38\%/^{\circ}\text{C}$. Un sistema con un valor de tensión a circuito abierto de 595 voltios a 25°C podría estar expuesto a temperaturas ambiente de -30°C . Los conductores e interruptores de 600 voltios pueden manejar esta tensión (595). Al amanecer y al anochecer, el módulo puede estar a una temperatura ambiente de -30°C y no experimentar ningún calentamiento; pero puede generar tensiones a circuito abierto de 719 voltios ($595 \times (1 + (25 + 30) \times 0.0038)$). Esta tensión supera en gran medida la capacidad de los conductores, fusibles, interruptores y demás equipos especificados para 600 voltios. La posibilidad muy real de este tipo de condiciones justifica el requisito *UL* del factor de 125% en el valor de la tensión a circuito abierto.

El estándar *UL 1703* también exige que el valor (en STC) de la corriente de cortocircuito del módulo FV se multiplique por el 125% antes de aplicar otros factores como los del *NEC*. Este factor *UL* es para proporcionar un margen de seguridad para el tamaño de los cables y limitadores de corriente cuando la irradiación supera el estándar de 1000 W/m^2 . Según la estación, las condiciones del clima local y el polvo y la humedad en la atmósfera, la irradiación supera los 1000 W/m^2 cada día en torno al mediodía. Puede haber un período de tiempo tan largo como 4 horas, con valores de irradiación cercanos a 1200 W/m^2 , dependiendo de nuevo de las condiciones mencionadas anteriormente y del tipo de seguimiento empleado. Estos valores diarios de irradiación pueden aumentar las corrientes de cortocircuito un 20% por encima del valor para 1000 W/m^2 .

El refuerzo de la irradiación debido a las superficies reflectantes como la arena, la nieve, o los tejados blancos, e incluso las masas cercanas de agua pueden aumentar la corriente de cortocircuito de forma sustancial y durante períodos de tiempo significativos. Las nubes tipo cúmulos también pueden aumentar la irradiación tanto como un 50%.

Otro factor que hay que considerar es que los módulos fotovoltaicos funcionan normalmente a 30-40°C por encima de la temperatura ambiente. En los módulos FV de silicio cristalino, la corriente de cortocircuito aumenta a medida que la temperatura aumenta. Un factor típico puede ser $0.1\%/^{\circ}\text{C}$. Si la temperatura de funcionamiento del módulo fuese 60°C (35°C por encima del valor STC de 25°C), la corriente de cortocircuito sería un 3.5 por ciento superior al valor especificado. Se han medido temperaturas de funcionamiento de módulos tan altas como 72°C. La combinación de temperaturas de funcionamiento aumentadas, irradiaciones por encima de 1000 W/m^2 en torno al mediodía y la posibilidad de la

irradiación reforzada, ciertamente justifican el requisito *UL* del 125% del valor especificado de corriente de cortocircuito.

Requisitos del *NEC*

El *NEC* exige que la corriente de cortocircuito del módulo, circuito fuente o campo, se multiplique por el 125% antes de calcular la ampacidad de cualquier cable o la capacidad de cualquier limitador de corriente usado en estos circuitos. Este factor se suma al 125% exigido por *UL* y es necesario para asegurar que los limitadores de corriente no se conectan a conductores que puedan causar su funcionamiento inadecuado.

Como son posibles las corrientes de cortocircuito por encima del valor especificado, tal como se muestra en la discusión anterior, y estas corrientes son independientes de los requisitos del *NEC*, la buena práctica de la ingeniería obliga a que se usen ambos factores a la vez. Esto conlleva a un factor de multiplicación en la corriente de cortocircuito de 1.56 (125% x 125%).

El *NEC* también exige que se disminuya la ampacidad de los conductores en función de la temperatura de funcionamiento del conductor. Esto es una exigencia porque la ampacidad de los cables viene dada para una temperatura ambiente de 30°C. En los sistemas FV, los cables circulan por el exterior y deberían someterse, al menos, a una disminución en su ampacidad correspondiente a una temperatura ambiente de 40°C. Los módulos FV funcionan a temperaturas elevadas y en algunas instalaciones, tan elevadas como 73°C (los módulos de concentración funcionan incluso a temperaturas más elevadas). La temperatura en las cajas de conexión del módulo se aproximan a estas temperaturas y los conductores al aire que van en la parte posterior de estos módulos también está expuestos a estas temperaturas. Unas temperaturas tan elevadas exige que la ampacidad de los conductores se disminuya en factores de 0.33 a 0.58 según sea el tipo de cable, el método de instalación (al aire o bajo tubo) y la especificación de temperatura para el aislamiento.

Los cables bajo tubo en los que el tubo está expuesto a los rayos directos del sol, también se verán sometido a temperaturas de funcionamiento elevadas.

Los cables con aislamiento para 60°C no tienen en absoluto ampacidad cuando funcionan en ambientes con temperaturas ambiente por encima de los 55°C. Esto impide su uso en la mayoría de los sistemas FV.

Estos factores de disminución se aplican para determinar la ampacidad del cable y no están relacionados directamente con el factor del 125% exigido en cualquier otro lugar del *NEC*.

¿Redundancia y Conservadurismo o No?

Parece que no hay duda de que el factor *UL* del 125% en la tensión es necesario en cualquier lugar donde la temperatura ambiente caiga por debajo de 25°C. Aunque el sistema FV puede proporcionar poca corriente bajo condiciones de tensión a circuito abierto, estas tensiones elevadas pueden dañar los equipos electrónicos y causar esfuerzos en los conductores y otros equipos, al exceder sus tensiones de avería.

En temperaturas ambiente desde 25°C hasta 40°C y más, las corrientes de cortocircuito aumentan al tiempo que los conductores se someten a temperaturas

de funcionamiento más elevadas. El refuerzo de la irradiación puede ocurrir en cualquier momento. Por tanto, los factores de *UL* y del *NEC* para la corriente de cortocircuito y las disminuciones por la temperatura en la ampacidad de los conductores, presentes en el *NEC*, no son redundantes.

La buena práctica de la ingeniería sugiere que los requisitos del estándar 1703 de *UL* y los requisitos del *NEC*, no son ni conservadores ni redundantes y deberían aplicarse en todos los sistemas.

APÉNDICE C

Sistemas Conectados a la Red

El diseñador e instalador FV se encuentra con algunos problemas específicos para el cumplimiento del *NEC* en los sistemas conectados a la red. Aunque algunas veces estas instalaciones no tienen baterías o reguladores de carga, la disponibilidad de inversores y otros equipos homologados es limitada, debido al bajo volumen de producción.

Inversores

Algunos de los inversores disponibles para acoplamiento a la red no cumplen actualmente el estándar establecido por *UL* para los inversores. Algunos inversores no pueden tener los circuitos FV de continua y los circuitos de salida de alterna puestos a tierra sin originar caminos paralelos de corrientes de tierra. Las últimas versiones de estos inversores pueden solucionar este problema.

Otros inversores tienen la circuitería interna ligada a la carcasa y obligan al punto central de puesta a tierra a estar en los terminales de entrada del inversor. En algunas instalaciones este diseño no es compatible con el equipo de detección de fallas a tierra y no proporciona la flexibilidad necesaria para la eliminación máxima de sobretensiones.

Fuente FV - Conductores del Circuito

Algunos inversores acoplados a la red funcionan con campos FV con toma neutra intermedia y tienen tensiones a circuito abierto de ± 325 voltios y superiores. La tensión del sistema de 650 voltios o mayor, excede la capacidad de aislamiento de los conductores con aislamiento de 600 voltios usados normalmente. Cada desconectador y limitador de corriente y el aislamiento del cableado, **debe** tener una especificación de tensión superior al valor de la tensión del sistema. Hay cables como los tipos G y W que tienen las mayores especificaciones de tensión, pero son flexibles y no cumplen los requisitos del *NEC* para instalaciones fijas. Hay cables adecuados para instalaciones que requieran un aislamiento superior a 600 voltios que sí se adaptan al *NEC* (Apéndice A).

Otros inversores funcionan en sistemas con tensiones a circuito abierto superiores a ± 540 voltios que precisan conductores con aislamiento de 2000 voltios o mayor. Véase el Apéndice D para más detalle.

Limitadores de Corriente

Aunque no están homologados por *UL*, Heinemann Electric Company (Apéndice A) puede conectar en serie los polos de los cortacircuitos para continua para obtener capacidades de 750 voltios. Square D y otros tienen productos similares.

Los cortacircuitos con “realimentación” para cualquier aplicación (pero en especial para la conexión del inversor a la red) **deben** estar identificados (en la homologación) para este uso y **deben** ir sujetos con un tornillo u otra abrazadera adicional [690-64b(5), 384-16(f)].

Desconectadores

Además del cortacircuito de Heinemann mencionado anteriormente, fabricantes como GE, Siemens y Square D, pueden certificar sus interruptores para tensiones superiores cuando se conectan en serie los polos.

Diodos de Bloqueo

Aunque los diodos de bloqueo no son dispositivos limitadores de corriente, en algunos casos bloquean la corriente en los circuitos de continua y ayudan a controlar las corrientes de falla a tierra, si se usan en ambos extremos de las líneas de alta tensión. Los diodos acusan en gran medida las sobretensiones inducidas por los rayos. Si se usan diodos con aislamiento hay que proporcionar al menos 3500 voltios de aislamiento entre los elementos activos y el dissipador de calor puesto normalmente a tierra. La vida del diodo puede alargarse si se escoge una tensión de pico inversa tan alta como sea posible, pero al menos dos veces mayor que la tensión FV a circuito abierto. La eliminación de sobretensiones sustanciales también mejorará el tiempo de vida del diodo.

Eliminación de Sobretensiones

La eliminación de sobretensiones se trata sólo ligeramente en el *NEC*, porque afecta más al rendimiento que a la seguridad y es, principalmente, un problema de la compañía suministradora a nivel de línea de transmisión en sistemas de corriente alterna [280]. Los campos FV colocados en zonas despejadas y en la parte superior de los tejados actúan como pararrayos. El diseñador e instalador FV debe proporcionar los medios adecuados para tratar las sobretensiones inducidas por los rayos que entran en el sistema.

Los conductores de tierra de la estructura del campo deberían ir directamente hasta el electrodo de tierra situado lo más cerca posible del campo. Los conductores de tierra de la estructura del campo no deberían ir paralelos a, o junto a los conductores portadores de corriente, para minimizar el acoplamiento de sobretensiones en el sistema. El *NEC* permite esta separación en sistemas de continua en la Sección 250-57(b) Ex 2.

Los conductores metálicos añaden inductancia a los conductores que van desde el campo hasta el edificio, frenan las sobretensiones inducidas y proporcionan algún apantallamiento electromagnético.

Los varistores de óxido de metal (MOV) usados comúnmente como dispositivos para la eliminación de sobretensiones en sistemas FV, tienen varias deficiencias. Dejan pasar continuamente una pequeña cantidad de corriente. La tensión límite disminuye a medida que pasa el tiempo y puede alcanzar la tensión del sistema a circuito abierto. Cuando fallan lo hacen en cortocircuito, se calientan y suelen arder. En muchas instalaciones, los MOVs se protegen con fusibles rápidos para impedir que se dañen más cuando fallan, pero esto puede limitar su efectividad como dispositivos de eliminación de sobretensiones. Hay otros dispositivos que no presentan estos problemas.

Los descargadores de tensión de óxido de silicio no dejan pasar corriente cuando están en estado de corte. Cuando se sobrecargan fallan abriendo el circuito y a pesar de que se rompen cuando se sobrecargan, no suelen arder. No suelen ir protegidos con fusibles y están especificados para sobrintensidades tan altas como

100 000 amperios. Están especificados para tensiones de 300 voltios y superiores y están disponibles en las tiendas de suministros eléctricos o en Delta Lighting Arrestors, Inc. (Apéndice A).

Hay varias empresas especializadas en equipos de protección contra los rayos, pero la mayoría lo están para sistemas de corriente alterna. Pueden consultarse la guías de productos electrónicos, como el *Electronic Engineers Master Catalog*.

APÉNDICE D

Capacidad de los Cables y de los Dispositivos a Tensiones Elevadas

Existe una preocupación a la hora de diseñar sistemas FV que tienen tensiones a circuito abierto superiores a 600 voltios. Esta preocupación tienen dos aspectos principales –la capacidad de los dispositivos y las limitaciones del *NEC*.

Capacidad de los Equipos

Algunos inversores acoplados a la red funcionan con un campo FV bipolar puesto a tierra (tres hilos). En un sistema FV bipolar, donde cada monopolo funciona en el rango de 220-235 voltios a la potencia pico, la tensión a circuito abierto puede estar entre 290 y 380 voltios y más, dependiendo de las características del módulo, como el factor de forma. Un sistema bipolar así se puede describir como un sistema de 350 / 700 voltios (por ejemplo) de la misma manera que se describe un sistema de alterna de 120 / 240 voltios. Esta forma de describir la tensión del sistema se mantiene en todos los códigos eléctricos usados, no sólo en sistemas de energía comerciales y para viviendas, sino también por la compañía suministradora.

En todos los sistemas, las especificaciones de tensión para los cables, interruptores y limitadores de corriente, se basan en el mayor de los números del par (es decir, 700 voltios en un sistema de 350 / 700 voltios). Esa es la razón por la que los interruptores y limitadores de corriente de 250 voltios se usan en sistemas de alterna de 120 / 240 voltios y los interruptores de 600 voltios se usan en sistemas como los de 277 / 480 voltios de alterna. Hay que observar que lo que define la capacidad de tensión de los equipos no es la tensión respecto de tierra, sino la máxima tensión línea a línea.

El *Código Eléctrico Nacional* (*NEC*) define una tensión nominal para los sistemas de alterna (120, 240, etc.) y admite que se puede esperar alguna variación alrededor de esa tensión nominal. Esta variación en torno a la tensión nominal no se considera en los sistemas FV de continua y el *NEC* exige que debe usarse la tensión a circuito abierto del campo. La tensión a circuito abierto se define en *STC*, debido a la relación entre los estándares *UL* y la forma en que se escribió el *NEC*. El Manual del *NEC* elabora una definición de “tensión de circuito”, pero esta definición no se puede aplicar a sistemas de corriente continua limitada. En la Sección 690-7(a) del *NEC* se exige que sea la tensión a circuito abierto la usada para establecer las especificaciones del circuito de continua en los sistemas FV.

El *NEC* de 1996 define específicamente la tensión del sistema como la suma de los valores absolutos de las tensiones bipolares a circuito abierto [690-7(a)].

La comparación con los sistemas de alterna no puede llevarse demasiado lejos; hay diferencias. Por ejemplo, el típico interruptor de pared en un sistema comercial o de viviendas de 120 / 240 voltios de alterna, está especificado sólo para 120 voltios; pero este interruptor en un sistema FV de 120 / 240 voltios de continua, tendría que estar especificado para 240 voltios. Las diferencias inherentes entre una fuente de corriente continua (módulos FV) y una fuente de tensión (alterna de la red) tienen que ver con este aspecto. Aunque las definiciones de tensión de circuito que aparecen en el *NEC* y en el Manual del *NEC* se refieren a sistemas de alterna y de continua, no tienen en cuenta el diseño

del resto del sistema, necesario en los sistemas FV de corriente limitada. En un sistema FV todo el cableado, los desconectores y los limitadores de corriente, tienen especificaciones de corriente que exceden, al menos en un 25%, las corrientes de cortocircuito. En el caso de que haya fallas a tierra o debidos a rayos, que afectan a las corrientes del campo FV, los limitadores de corriente no saltan porque están especificados para soportar niveles de funcionamiento continuo superiores a los niveles de falla. En un sistema de alterna las fallas debidos a los rayos y los fallas a tierra, suelen dar lugar a que los limitadores de corriente salten o se quemen, aislando la fuente de tensión del falla. Por tanto, los fallas que originan problemas de alta tensión en los sistemas FV de continua, dan lugar a que se corte la tensión en los sistemas de alterna alimentados por la red. Por esta razones, un interruptor especificado para 120 voltios se puede usar en un sistema de alterna con tensiones de hasta 240 voltios; pero en un sistema FV de continua, el interruptor tendría que estar especificado para 240 voltios.

El Estándar 1703 de Underwriters Laboratories (*UL*) exige que los fabricantes de módulos homologados según el estándar, incluyan en las instrucciones de instalación que la tensión a circuito abierto debe multiplicarse por el 125% (células cristalinas), incrementando posteriormente las especificaciones de tensión para los equipos del Resto del Sistema (BOS).

Los módulos FV actuales que están homologados según el Estándar 1703 de *UL*, lo están para una tensión máxima del sistema de 600 voltios. Los ingenieros advierten a todos los instaladores, fábricas y demás, que no se exceda esta tensión. Esta restricción no se modifica por el hecho de que los módulos superan pruebas de puntos calientes a tensiones superiores. El Estándar 1703 de *UL* permite que los módulos se homologuen hasta 1000 voltios.

Aunque no consta de manera explícita en el *NEC*, es evidente que la intención del Código y de los Estándares de *UL* es que los cables, interruptores, fusibles, cortacircuitos y módulos en un sistema FV, se especifiquen para la máxima tensión del sistema. Esto se aclara en el *NEC* de 1996 [690-7(a)].

Aunque se reducen los posibles fallas línea a línea, la práctica de cablear cada monopolo (uno de los dos circuitos eléctricos fuente) en un tubo aparte hasta el inversor no elimina el problema. Considérese el sistema bipolar presentado en la Figura D-1, con un falla debido a los rayos (o cortocircuito intencionado) entre los conductores negativo y positivo del campo, a la entrada del inversor. Con los interruptores cerrados, circula la corriente de cortocircuito del campo y no se abre ningún fusible.

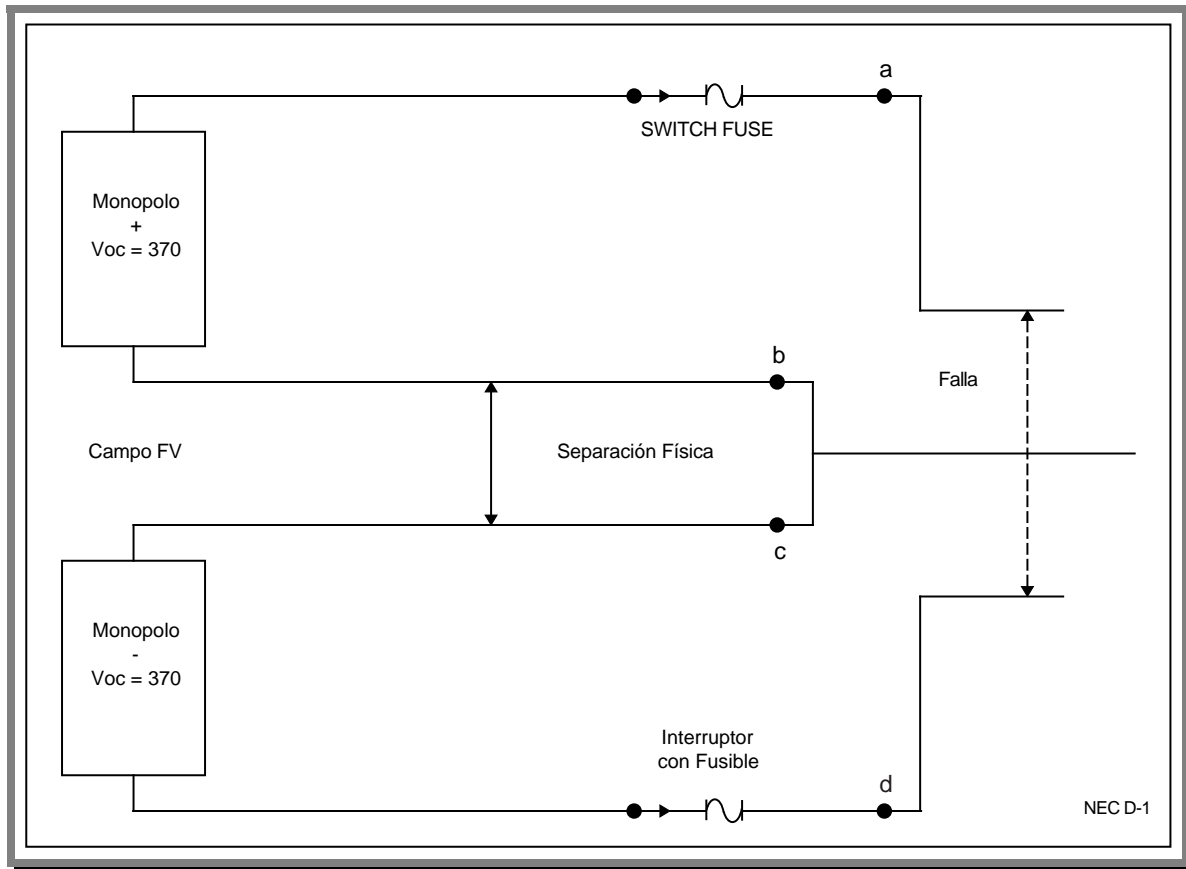


Figura D-1. Típico Sistema Bipolar con Falla

Ahora considere qué ocurre en cada una de los casos siguientes.

1. Se abre un interruptor
2. Se abre un fusible
3. Se suelta un cable en la caja de conexiones de un módulo
4. Se abre una conexión entre celdas, o se origina una resistencia elevada
5. Falla un conductor en algún punto

En cualquiera de estos casos, toda la tensión del campo (740 voltios) provoca un esfuerzo en el dispositivo donde se abre el circuito. Esta tensión (entre cero en cortocircuito y la tensión a circuito abierto del campo) aparecerá en el dispositivo o en el cable. A medida que el dispositivo empieza a fallar, la corriente que lo atraviesa va desde I_{sc} hasta cero, mientras que la tensión que soporta va desde cero hasta V_{oc} . Este proceso es muy probable que origine arcos eléctricos y daños por calentamiento.

La separación de los monopolos no evita los esfuerzos en los componentes debidos a la alta tensión, pero ayuda a minimizar la aparición de algunas fallas. Hay otras fallas posibles que también causan que toda la tensión se aplique en varios componentes del sistema. Un conductor de tierra mal instalado, junto con una falla a tierra del módulo, podría originar problemas similares.

La Sección 690-5 del *NEC* exige un dispositivo de falla a tierra en los sistemas FV instalados en los tejados de las viviendas. Este dispositivo, usado para la

protección contra incendios, debe detectar el falla, interrumpir la corriente de falla y “deshabilitar” el campo. El concepto de “deshabilitar” no está definido de forma clara en el *NEC*, pero en el Manual del *NEC* (que contiene orientaciones adicionales) se dice que un medio de deshabilitar el campo es cortocircuitar los terminales del campo. Este cortocircuito crea, como una función de diseño, el falla descrito anteriormente. Varios dispositivos de falla a tierra, prototipos y comerciales, tienen esta característica de cortocircuito.

Algunos sistemas FV grandes (100 kW) conectados a la red como el situado en Juana Diaz, Puerto Rico, tienen inversores que cuando se apagan cortocircuitan el campo. El campo permanece en cortocircuito hasta que se corte la potencia alterna.

Limitación del *NEC*

El segundo aspecto asociado con esta preocupación es que según la Sección 690-7(c) del *NEC* de 1996, en hogares de una y dos familias sólo se permiten sistemas FV con tensiones hasta 600 voltios. Los aspectos relacionados con el inversor y el diseño del sistema pueden favorecer niveles mayores de tensión del sistema.

SOLUCIONES

A Corto Plazo

Los diseñadores de sistemas pueden seleccionar inversores con tensiones de funcionamiento y a circuito abierto, más bajas. Hay inversores para acoplamiento a la red con tensiones tan bajas como 24 voltios. También pueden trabajar con los fabricantes de inversores con tensiones mayores, para reducir el número de módulos en cada fila hasta el punto en que la tensión a circuito abierto sea inferior a 600 voltios. También se reduciría la tensión a la potencia pico. Puede que se necesiten transformadores para elevar la tensión alterna hasta el nivel requerido. Al menos un fabricante ha seguido esta opción y ofrece inversores que pueden funcionar con campos que tengan tensiones a circuito abierto inferiores a 600 voltios.

Los fabricantes de cables pueden producir un cable monopolar homologado por *UL* de polietileno enlazado, con marca USE-2, RHW-2 y Resistente a la Luz Solar. El cable está especificado para 2000 voltios. Este cable podría usarse para las interconexiones del módulo que van al aire y bajo tubo, después de haber cumplido con el resto de las exigencias del *NEC* para instalaciones de más de 600 voltios.

Varios fabricantes han certificado de fábrica la especificación de sus desconectores de tres polos para permitir tensiones mayores y la desconexión en ausencia de carga, con polos conectados en serie. El *NEC* exigirá un método aceptable para conseguir la desconexión en ausencia de carga.

Algunos fabricantes de cortocircuitos OEM, certificarán de fábrica la conexión en serie de los polos en sus cortocircuitos. Se han usado unidades a 750 voltios y 100 amperios, con poder de corte de 10 000 amperios. Pueden conseguirse tensiones superiores.

Hay fusibles industriales de alta tensión, pero de momento se desconocen las especificaciones para continua.

Se pueden usar bloques individuales de terminales para 600 voltios, con la separación apropiada para tensiones superiores.

Los fabricantes de módulos pueden homologar sus módulos para tensiones de sistema superiores.

Se pueden conectar diodos de potencia en cada monopolo. Cuando ocurre un falla línea a línea causado por los rayos, uno de los diodos se polarizará en directa cuando se abra un interruptor o un fusible, impidiendo así que la tensión de un monopolo se sume a la del otro monopolo. Los diodos se colocan entre los puntos a-b y c-d de la Figura D-1. Cada diodo ha de estar especificado al menos para la tensión a circuito abierto del sistema y para la corriente de cortocircuito de un monopolo. Como los diodos no están homologados como dispositivos de protección, el *NEC* no reconoce esta solución.

El *NEC* de 1996 permite las instalaciones FV de más de 600 voltios en las aplicaciones no residenciales, lo que abarca el rango de tensión utilizado en la mayoría de los diseños actuales. Debería usarse el Artículo 710 para consultar todos los requisitos concernientes a la instalación de sistemas eléctricos con tensiones por encima de 600 voltios.

APÉNDICE E

Ejemplos de Sistemas

Los sistemas descritos en este apéndice y los cálculos mostrados se presentan sólo como ejemplos. Los cálculos para los tamaños de los conductores y las capacidades de los dispositivos limitadores de corriente se basan en las exigencias del *Código Eléctrico Nacional (NEC)* de 1996 y en el estándar 1703 de *UL* que facilita instrucciones para la instalación de módulos FV homologados por *UL*. Los códigos locales y las variaciones específicas del lugar en irradiancia, temperatura y montaje de módulos, al igual que otras particularidades de la instalación, sugieren que estos ejemplos no deberían llevarse al práctica sin un refinamiento posterior. Las Tablas 310-16 y 310-17 del *NEC* proporcionan los datos de ampacidad y los factores de disminución de la misma debidos a la temperatura.

DIMENSIONADO DEL CABLEADO Y PROTECCIÓN CONTRA SOBREINTENSIDADES

El procedimiento para el dimensionado del cableado y la protección contra sobrecorrientes de ese cableado, mostrado a continuación, se basa en las exigencias del *NEC* de las Secciones 690-9, 690-8, 210-22(c), 220-3(a), 220-10(b), 215-3 y 240-3(b).

- 1. Corriente del Circuito.** En los circuitos que llevan corrientes desde los módulos FV, multiplicar la corriente de cortocircuito por el 125% y usar este valor para todos los cálculos posteriores. Para los circuitos dc y ac del inversor, en sistemas FV, usar la corriente continua especificada. Los circuitos de carga ac y dc deberían seguir los requisitos de las Secciones 210, 220 y 215.
- 2. Capacidad del Dispositivo Contra Sobrecorrientes.** El dispositivo contra sobrecorrientes debe tener una capacidad del 125% de la corriente determinada en el Paso No. 1. Esto es para impedir que los dispositivos contra sobrecorrientes funcionen a más del 80% de su capacidad.
- 3. Dimensionado del Cableado.** Los cables tendrán una ampacidad del 125% de la corriente determinada en el Paso No. 1 y para 30°C, para asegurar el funcionamiento correcto de los dispositivos contra sobrecorrientes conectados. En este cálculo no se aplican más factores de disminución de ampacidad.
- 4. Disminución de Ampacidad en los Cables.** Basándose en la determinación del Paso No. 3 y en la localización del cable (bajo tubo o al aire), se seleccionan en las Tablas de Ampacidad del *NEC*, 310-16 o 310-17, un tamaño de cable y un aislamiento de temperatura (60, 75 o 90°C). Usar las ampacidades del cable de 75°C para obtener el tamaño y después usar la ampacidad de la columna de 90°C, si es necesario, para las disminuciones. La ampacidad corregida resultante debe ser mayor que el valor encontrado en el Paso No. 1. Si no es mayor, debe seleccionarse un cable de más tamaño o de aislamiento de temperatura más alto.

- 5. Ampacidad vs. Dispositivo contra Sobreintensidades.** La ampacidad corregida del cable, seleccionada en el Paso No. 4, debe ser igual o superior a la capacidad del dispositivo contra sobreintensidades determinada en el Paso No. 2. Si la ampacidad corregida del cable es inferior a la capacidad del dispositivo contra sobreintensidades, entonces debe seleccionarse un cable más grande. Si la ampacidad corregida del cable se haya entre los tamaños estándar de dispositivos contra sobreintensidades, encontrados en la Sección 240-6 del *NEC*, se puede usar el tamaño estándar de dispositivo contra sobreintensidades inmediatamente superior.
- 6. Compatibilidad de los Terminales de los Dispositivos.** Como la mayoría de los dispositivos contra sobreintensidades tienen terminales especificados para su uso con cables de 75°C (o 60°C), debe verificarse la compatibilidad. Si en el proceso anterior se ha seleccionado un cable aislado para 90°C, la ampacidad a 30°C del mismo tamaño de cable, con un aislamiento de 75°C (o 60°C), debe ser inferior o igual a la corriente encontrada en el Paso No. 1. Esto asegura que el cable trabajará a temperaturas por debajo de la especificada para los terminales del dispositivo contra sobreintensidades.

Este es un ejemplo de cómo se usa el procedimiento:

La tarea consiste en dimensionar y proteger dos circuitos FV fuente, bajo tubo, cada uno con una $I_{sc}=40$ A. En el tubo hay cuatro conductores portadores de corriente y trabajan a una temperatura ambiente de 45°C.

- Paso 1: $1.25 \times 40 = 50$ A.
- Paso 2: Se precisa un fusible (con terminales para 75°C) de $1.25 \times 50 = 62.5$ A. El tamaño estándar inmediatamente superior es 70 A.
- Paso 3: El mismo cálculo que en el Paso 2. La ampacidad sin corregir del cable debe ser 62.5 A.
- Paso 4: De la Tabla 310-16, cables con aislamiento de 75°C: se necesita un conductor de calibre AWG No. 6 para 65 A. Esto cumple los requisitos del Paso 3. Se proyecta instalar un cable No. 6 AWG x HHW-2 con aislamiento de 90°C y una ampacidad a 30°C de 75 A. La corrección por el número de conductores en el tubo es 0.8 y por temperatura es 0.87. La ampacidad corregida es 52.2 amperios ($75 \times 0.8 \times 0.87$). Esta es superior a los 50 A requeridos en el Paso 1 y cumple el requisito.
- Paso 5: Es aceptable proteger el cable con una ampacidad corregida de 52.2 A, con un dispositivo contra sobreintensidades de 60 A, ya que éste es el tamaño estándar inmediatamente superior. Sin embargo, este circuito necesita al menos un dispositivo de 62.5 A (Paso 2). Por tanto, el tamaño del conductor debe incrementarse hasta el No. 4 AWG, con una ampacidad corregida de 66 A ($95 \times 0.87 \times 0.8$). Un fusible de 70 A serviría para proteger este cable, ya que es el tamaño estándar inmediatamente superior.
- Paso 6: La ampacidad del cable No. 4 AWG con aislamiento de 75°C (porque el fusible tiene terminales para 75°C) es 85 . Usar la columna de 75°C en la Tabla 310-16 o 310-17, para empezar el Paso 4, suele asegurar que se pasará esta comprobación.

EJEMPLO 1 Sistema Directo de Bombeo de Agua

Tamaño del campo: 4 módulos de 12 V y 60 W $I_{sc}=3.8 \text{ A}$, $V_{oc}=21.1 \text{ V}$
Carga: Motor de 12 V, 10 A

Descripción

Los módulos se conectan en paralelo y están dotados de un sistema de seguimiento. El cableado de los módulos se muestra en la Figura E-1 y se realiza con cable monopolar tipo USE-2 y número 10 AWG. El cable se coloca con bastante holgura para que el movimiento del sistema de seguimiento no produzca esfuerzos en el cable para viviendas, que es bastante rígido. El cable tipo USE-2 va hasta un desconectador situado en una caja del poste. Desde esta caja se lleva cable tipo HHW-2, de calibre 8 AWG por un tubo eléctrico no metálico hasta el pozo. El tubo va enterrado 18 pulgadas. Se usa el cable número 8 AWG para minimizar la caída de tensión.

El *NEC* exige el desconectador. Como los módulos FV tienen una corriente limitada y todos los conductores tienen una ampacidad mayor que la salida máxima de los módulos FV, no es necesario ningún limitador de corriente, aunque algunos inspectores pueden exigirlo y serviría para proporcionar alguna protección frente a los rayos. Hay que usar un desconectador especificado para continua, con o sin fusible. Como el sistema no tiene toma de tierra, hay que usar un interruptor bipolar. Hay que poner a tierra todos los marcos de los módulos, la caja del desconectador y la cubierta de la bomba, tenga o no el sistema toma de tierra.

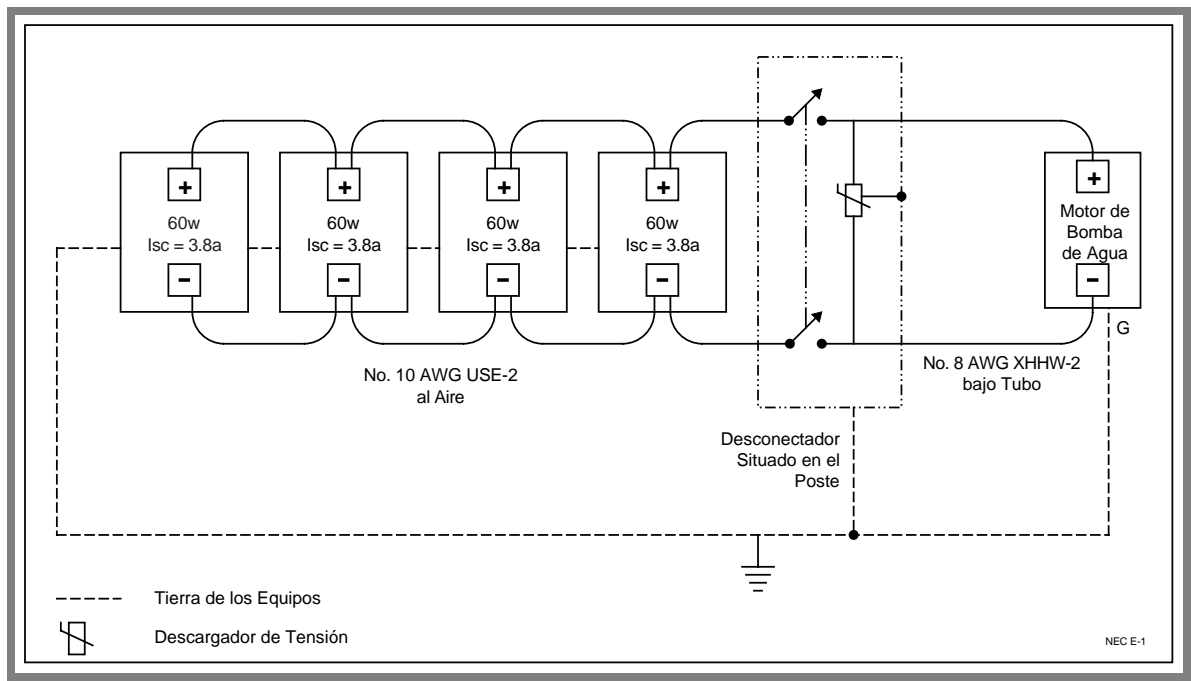


Figura E-1. Sistema Conectado Directamente

Cálculos

La corriente de cortocircuito del campo es 15.2 A (4 x 3.8).

125% (UL): $1.25 \times 15.2 = 19 \text{ A}$

125% (NEC): $1.25 \times 19 = 23.75 \text{ A}$

La ampacidad del cable USE-2 de calibre 10 AWG a 30°C es 55 A.

La ampacidad a 61-70°C es 31.9 A (0.58 x 55) que es superior a los 19 A requeridos.

Los conductores de puesta a tierra del equipo serían del número 10 AWG.

La capacidad mínima de tensión de todos los componentes es 26 V (1.25 x 21.1).

EJEMPLO 2 Sistema de Bombeo de Agua con Elevador de Corriente

Tamaño del campo: 10 módulos de 12 V y 53 W $I_{sc}=3.4 \text{ A}$, $V_{oc}=21.7 \text{ V}$

Salida del elevador de corriente: 90 A

Carga: motor de 12 V, 40 A

Descripción

Este sistema tiene un elevador de corriente antes de la bomba de agua y tiene más módulos que el del Ejemplo 1. En un principio, se escogió el cable USE-2 de calibre 8 AWG para las conexiones del campo, pero este cable no tiene la ampacidad adecuada. Como se muestra en los cálculos realizados a continuación, el campo se dividió en dos subcampos. Puede tener lugar un mal funcionamiento del elevador de corriente, pero no parece posible que una corriente excesiva pueda realimentarse en el cableado del campo ya que no hay otra fuente de energía en el sistema. Por tanto, estos conductores no necesitan limitadores de corriente si se dimensionan de acuerdo a la corriente total del campo. Si se usan conductores más pequeños, entonces serán necesarios los limitadores de corriente.

Como el campo está dividido en dos subcampos, la corriente de cortocircuito máxima disponible en cualquier subcampo es igual a la corriente de cortocircuito total del campo en condiciones de falla. Se necesitan limitadores de corriente para proteger los conductores de los subcampos bajo estas condiciones.

Se elige un sistema con puesta a tierra y sólo se precisa un desconectador monopolar. En la Figura E-2 se muestran los conductores de puesta a tierra de los equipos y del sistema.

Si los conductores de salida del elevador de corriente se dimensionan para soportar la corriente máxima (3 horas) del elevador, entonces no son necesarios los limitadores de corriente, pero de nuevo, algunos inspectores pueden exigirlos.

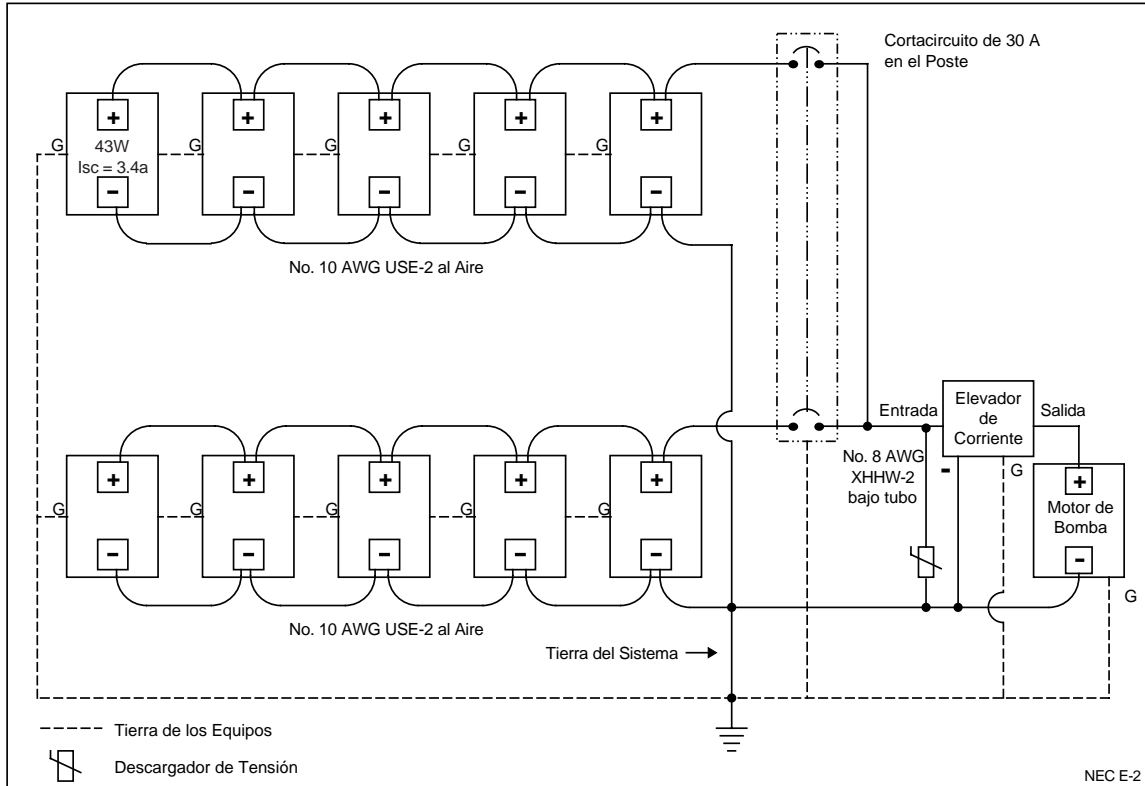


Figura E-2. Sistema FV Conectado Directamente con Elevador de Corriente

Cálculos

La corriente de cortocircuito del campo es 34 A (10 x 3.4).

125% (UL): $1.25 \times 34 = 42.5$ A

125% (NEC): $1.25 \times 42.5 = 53.1$ A

La ampacidad del cable USE-2 de calibre 8 AWG, a 30 °C y al aire, es 80 A.

La ampacidad a 61-70°C es 46.4 A (0.58 x 80), que es superior a los 42.5 A requeridos, y se puede usar un único campo. Sin embargo, por razones prácticas, el campo se ha dividido en dos subcampos. En cada uno de ellos se utilizan conductores USE-2 de calibre 10 AWG.

La corriente de cortocircuito de cada subcampo es 17 A (5 x 3.4).

125% (UL): $1.25 \times 17 = 21.3$ A

125% (NEC): $1.25 \times 21.25 = 26.6$ A

La ampacidad del cable USE-2 de calibre 10 AWG, a 30 °C y al aire, es 55 A.

La ampacidad a 61-70°C es 31.9 A (0.58 x 55), que es superior a los 21.3 A requeridos. Como este cable se va a conectar a un limitador de corriente con terminales especificados para 60°C o 75°C, la ampacidad del cable debe evaluarse con el aislamiento para 60°C o 75°C. Los limitadores de corriente especificados para 100 A o menos, pueden tener sus terminales especificados sólo para 60°C. El cable de calibre 10 AWG, con aislamiento de 75°C y funcionando a 30°C, tiene una ampacidad de 35 A, que es más de los 21.3 A requeridos. Por tanto, no hay problemas con los terminales en un limitador de 75°C.

Para proteger los conductores de calibre 10 AWG de cada subcampo, se usa un cortacircuito de 30 A. La capacidad requerida es $1.25 \times 21.25 = 26.6$ A, y el tamaño inmediatamente superior es 30 A.

La corriente máxima del elevador de corriente es 90 A.

La corriente promedio del elevador de corriente en funcionamiento prolongado (3 horas o más) es 40 A.

125% (NEC): $1.25 \times 40 = 50$ A

La ampacidad del cable HHW-2 de calibre 8 AWG, bajo tubo, es 55 A.

La ampacidad a 36-40°C es 50 A (0.91×55), lo que cumple el requisito, pero puede que no cumpla los requisitos de la conexión con el limitador de corriente.

Los conductores de calibre 8 AWG se conectan a la salida de los portafusibles y existe la posibilidad de que el fusible se caliente dependiendo de cómo se conecte el soporte. Es por tanto recomendable realizar los cálculos para el sobrecalentamiento de los terminales. La ampacidad del conductor de calibre 8 AWG, evaluada con aislamiento para 75°C (la temperatura máxima de los terminales en el limitador de corriente), es 50 A, que es superior a los 40 A requeridos. Esto significa que el limitador de corriente no estará sujeto a sobrecalentamiento cuando el conductor de calibre 8 AWG lleve 40 A.

Todos los conductores de tierra han de ser de calibre 10 AWG. El conductor del electrodo de tierra debe ser de calibre 8 AWG o superior.

Capacidad mínima de tensión de todos los componentes: $1.25 \times 21.1 = 26$ V

EJEMPLO 3 Sistema Autónomo de Iluminación

Tamaño del campo: 4 módulos de 12 V y 64 W $I_{sc} = 4$ A, $V_{oc} = 21.3$ V

Baterías: 200 A·h a 24 V

Carga: 60 W a 24 V

Descripción

Los módulos van colocados en la parte superior de un poste de 20 pies de alto con la lámpara halógena. Los módulos se conectan en serie y paralelo para conseguir los 24 V del sistema. La lámpara, con un balasto electrónico y un temporizador / controlador, consume 60 W a 24 V. Las baterías, desconectores, controlador de carga y limitadores de corriente, se colocan en una caja en la parte inferior del poste. El sistema se pone a tierra como se muestra en la Figura E-3.

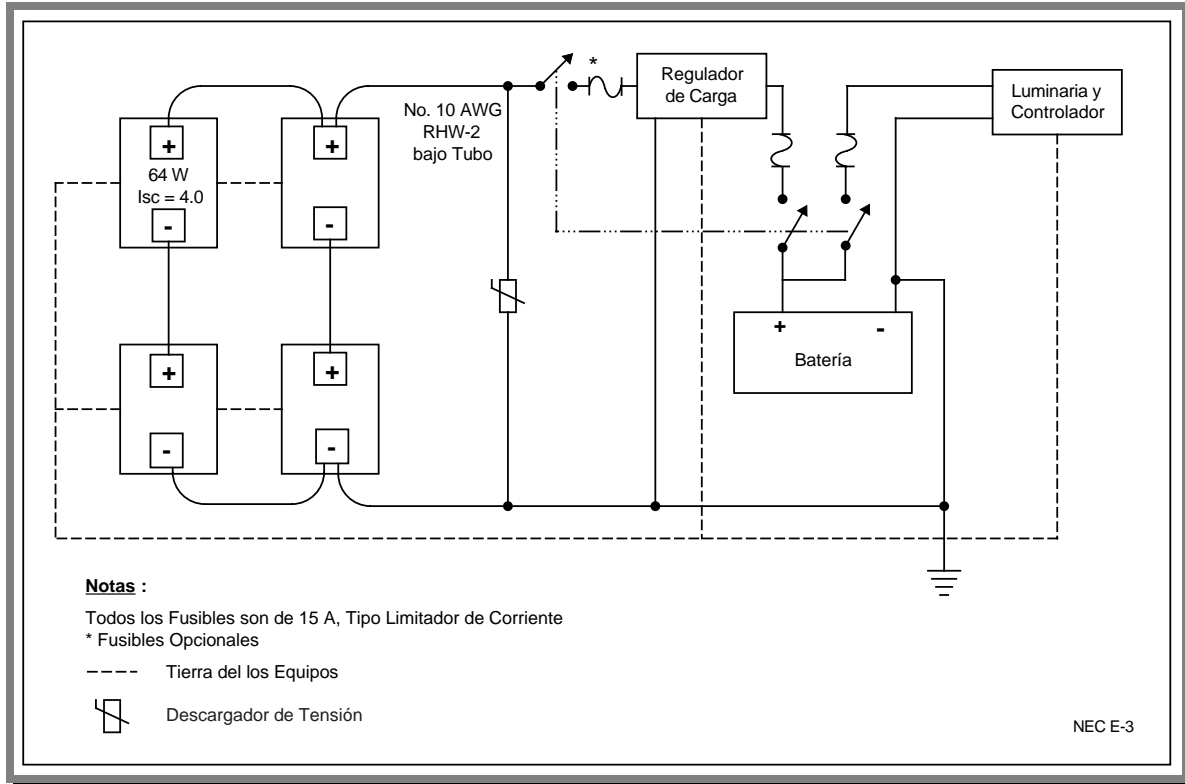


Figura E-3. Sistema Autónomo de Iluminación

Cálculos

La corriente de cortocircuito del campo es 8 A (2 x 4).
 125% (UL): $1.25 \times 8 = 10 \text{ A}$
 125% (NEC): $1.25 \times 10 = 12.5 \text{ A}$
 Corriente de carga: $60 / 24 = 2.5 \text{ A}$
 125% (NEC): $1.25 \times 2.5 = 3.1 \text{ A}$

Se escoge el cable USE-2 de calibre 10 AWG para las interconexiones de los módulos, se coloca bajo tubo en los módulos y luego se lleva por dentro del poste.

Los módulos trabajan a 61-70°C, lo que exige que se disminuya la ampacidad de los cables de los módulos, por efecto de la temperatura. El cable USE-2 de calibre 10 AWG tiene una ampacidad de 40 A, a 30°C y bajo tubo. El factor de corrección es 0.58. La ampacidad disminuida por efecto de la temperatura es 23.2 A (40×0.58), lo que supera los 10 A requeridos. Comprobando el cable con un aislamiento de 75°C, la ampacidad al final del fusible es 35 A, lo que supera los 10 A requeridos. Este cable se puede proteger con un fusible o un cortacircuito de 15 A (el 125% de 10 es 12.5). Un limitador de corriente especificado para 100 A o menos, sólo puede tener sus terminales especificados para 60°C, no para los 75°C usados en este ejemplo. Puede que sea necesario hacer cálculos para una temperatura más baja.

El mismo cable USE-2 de calibre 10 AWG se escoge para el resto del cableado del sistema, porque tiene la ampacidad necesaria para cada circuito.

Se elige un desconectador tripolar para realizar las funciones de desconexión del campo FV y la carga y de limitación de corriente. El fusible seleccionado es del tipo RK-5 y hace de limitador de corriente en los circuitos de la batería. Para una instalación más compacta también podría usarse un portafusibles con fusibles extraíbles de Clase RK-5 o T. Para la protección de los cables de calibre 10 AWG contra sobreintensidades se eligen fusibles de 15 A. Se usan en el circuito de carga y no se fundirán por efecto de las sobrecargas de encendido producidas por la lámpara o por el controlador. Se podría eliminar el fusible de 15 A colocado antes del controlador de carga, ya que ese circuito está protegido por un fusible colocado en el lado de la batería. Es obligatorio poner el desconectador en este lugar.

Los conductores de protección de los equipos y el conductor de puesta a tierra del sistema que va hasta el electrodo de tierra, han de ser del calibre 10 AWG.

La capacidad de tensión continua de todos los componentes utilizados en este sistema, debería ser al menos 53 V ($2 \times 21.3 \times 1.125$).

EJEMPLO 4 Sistema DC en una Cabaña Aislada

Tamaño del campo: 6 módulos de 12 V y 75 W $I_{sc} = 4.89 \text{ A}$, $V_{oc} = 22 \text{ V}$

Baterías: 700 A·h a 12 V

Carga: 75 W pico a 12 V dc

Descripción

Los módulos están situados sobre una estructura en una colina detrás de la casa. Se usa un tubo no metálico para llevar los cables desde la estructura hasta el panel de control. En un porche trasero se colocan un desconectador y el panel de control y las baterías están en una caja aislada bajo el porche. Todas las cargas son de corriente continua, con una potencia pico total de 75 vatios a 12 voltios debida, principalmente, a una bomba de presión en el suministro del agua por acción de la gravedad. El banco de baterías consta de cuatro baterías de ciclo profundo de 350 A·h y 6 V, conectadas en serie y paralelo. En la Figura E-4 se muestra el esquema del sistema.

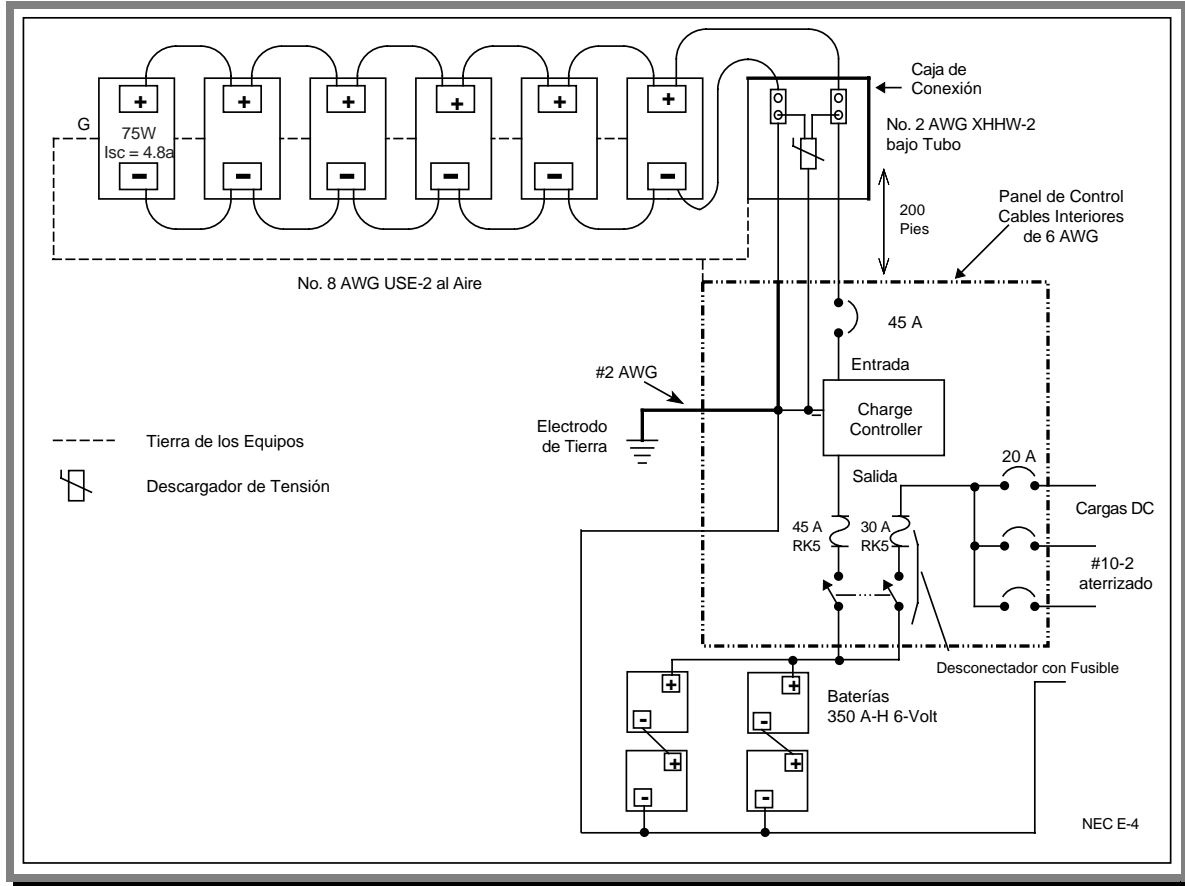


Figura E-4. Sistema Sólo DC en Cabaña Aislada

Cálculos

La corriente de cortocircuito del campo es 28.8 A (6 x 4.8).

125% (UL): $1.25 \times 28.8 = 36 \text{ A}$

125% (NEC): $1.25 \times 36.0 = 45 \text{ A}$

El cableado de interconexión de los módulos y el cableado hasta una caja de conexiones situada en la estructura funcionará a 65°C. Si se escoge cable USE-2 con aislamiento de 90°C, el factor de disminución por temperatura será 0.58. La ampacidad requerida del cable a 30°C es 62 A ($36/0.58$), que se pueden manejar con cable del calibre 8 AWG que tiene una ampacidad al aire y a 30°C, de 80 A. A la inversa, la ampacidad del cable de calibre 8 AWG es 46.4 A (80×0.58) a 65°C, que supera los 36 A requeridos.

Desde la caja de conexiones situada en la estructura, hasta el panel de control, los conductores van bajo tubo y están expuestos a temperaturas de 40°C. Si se selecciona cable XHHW-2 con aislamiento de 90°C, el factor de disminución por temperatura será 0.91. La ampacidad requerida del cable a 30°C sería $36/0.91 = 39.6 \text{ A}$, bajo tubo. El cable de calibre 8 AWG, bajo tubo y a 30°C, tiene una ampacidad, de 55 A. A la inversa, el conductor de calibre 8 AWG, bajo tubo y a 40°C, tiene una ampacidad de 50 A (55×0.91), que supera los 39.6 A requeridos a esta temperatura.

El cable número 8 AWG evaluado con aislamiento de 75°C, tiene una ampacidad a 30°C de 50 A, que es superior a los 36 A que podrían circular por él diariamente.

El campo está situado a 200 pies de la casa y la longitud de todo el recorrido del cable es 400 pies. La caída de tensión del cable número 8 AWG, para 400 pies y 36 A (125% de I_{sc}) es 0.778 ohmios por cada 1000 pies \times 400/100 \times 36 = 11.2 V. Esta caída de tensión es excesiva en un sistema de 12 V y las baterías no se pueden cargar de forma eficiente. Se sustituye el cable por uno del número 2 AWG (con una caída de tensión de 2.8 V); esta sustitución es aceptable para esta instalación.

En este sistema con puesta a tierra, los conductores FV están protegidos con un cortacircuito monopolar de 45 A (1.25 \times 36). El cortacircuito debería estar indicado para aceptar conductores del número 2 AWG especificados para 75°C. En el centro de control se usa cable THHN del número 6 AWG, con una ampacidad de 95 A a 30°C cuando se evalúa con aislamiento de 75°C. Para cumplir con las exigencias de la puesta a tierra, se usa cable del número 2 AWG desde la entrada negativa de continua hasta el punto donde se conecta el conductor del electrodo de tierra, en vez del número 6 usado en el resto.

La carga de 75 W pico consume unos 6.25 A y se usa cable no metálico aislado, del número 10-2 con conductor de tierra para la bomba y unos pocos puntos de luz. Para proteger el cableado de la carga se usan cortacircuitos de continua con capacidad de 20 A, que es superior a los 7.8 A (1.25 \times 6.25) de la corriente pico de carga e inferior a los 30 A de ampacidad del cable.

Se usan fusibles limitadores de corriente en un desconectador con fusibles para proteger los cortacircuitos de continua, que no tienen poder de corte suficiente para soportar las corrientes de cortocircuito procedentes de la batería en condiciones de falla. Se escogieron fusibles RK-5 con capacidad de 45 A para el circuito de carga de las baterías y de 30 A para el circuito de consumo. El desconectador con fusibles también proporciona la desconexión entre la batería y el controlador de carga y entre la batería y el centro de consumo en continua.

Los conductores de puesta a tierra de los equipos deberían ser del número 10 AWG y el conductor del electrodo de tierra debería ser del número 2 AWG .

Todos los componentes deberían tener una capacidad de tensión de al menos 1.25 \times 22 = 27.5 V.

EJEMPLO 5 Sistema Residencial Autónomo de Pequeño Tamaño

Tamaño del campo: 10 módulos de 12 V y 51 W $I_{sc} = 3.25$ A, $V_{oc} = 20.7$ V

Baterías: 800 A·h a 12 V

Cargas: 5 A dc y un inversor de 500 W con una eficiencia del 90%

Descripción

Los módulos FV van sobre el tejado. Se usa cable monopolar para conectar los módulos a una caja de conexiones situada en el tejado. Se usa cable UF bipolar aislado desde el tejado hasta el centro de control. Se proporciona protección física al cable UF cuando es necesario (barreras de madera o tubos). El centro de control, cuyo esquema se muestra en la Figura E-5, contiene los dispositivos de

desconexión y protección contra sobrecargas del campo FV, las baterías, el inversor y el controlador de carga.

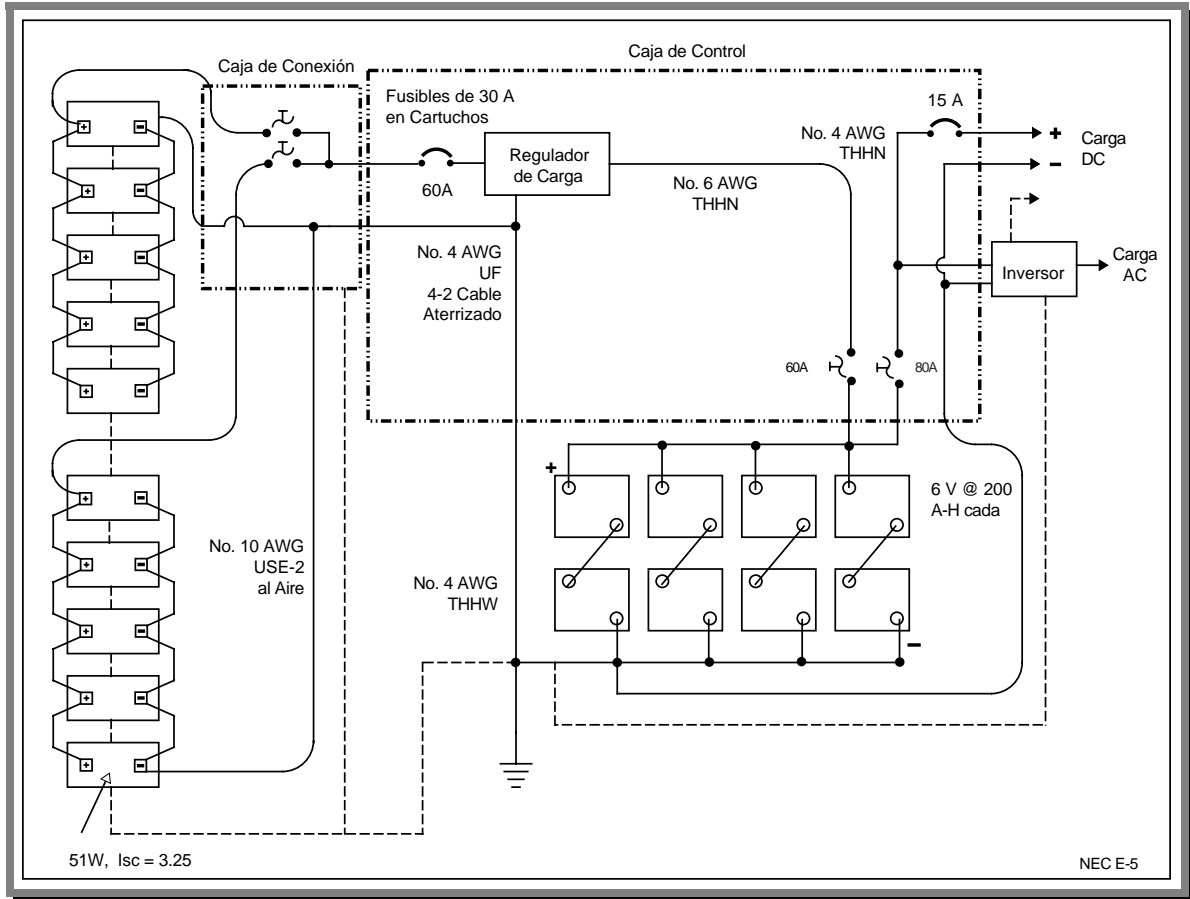


Figura E-5. Pequeño Sistema Residencial Autónomo

Cálculos

La corriente de cortocircuito de cada módulo es 3.25 A.

125% (UL): $1.25 \times 3.25 = 4.06$ A

125% (NEC): $1.25 \times 4.06 = 5.08$ A por módulo

La temperatura de operación de los módulos es 68°C.

El factor de disminución de ampacidad para el cable USE-2 es 0.58 a 61-70°C.

El cable número 14 tiene una ampacidad a 68°C de 20.3 A (0.58×35) (el fusible mayor es de 15 A –véanse las anotaciones en la parte inferior de las Tablas 310-16 & 17).

El cable número 12 tiene una ampacidad a 68°C de 23.2 A (0.58×40) (el fusible mayor es de 20 A).

El cable número 10 tiene una ampacidad a 68°C de 31.9 A (0.58×55) (el fusible mayor es de 30 A).

El cable número 8 tiene una ampacidad a 68°C de 46.43 A.

El campo está dividido en dos subcampos de cinco módulos cada uno. Los módulos en cada subcampo se cablean entre sus cajas de conexiones y luego hasta la caja de conexiones del campo. Para este cableado se selecciona cable USE-2 del número 10, porque posee una ampacidad de 31.9 A bajo estas condiciones y cada subcampo precisa $5 \times 4.06 = 20.3$ A. Evaluado con un aislamiento de 75°C , el cable número 10 AWG tiene una ampacidad de 35 A, que es superior a los 20.3 A (5×4.06) requeridos. En la caja de conexiones del campo situada en el tejado, hay dos fusibles extraíbles de 30 A para proteger los conductores del número 10 AWG. Estos fusibles son aptos para los 25.4 A (125% de 20.3) requeridos.

En esta caja de conexiones los dos subcampos se combinan en una única salida. La ampacidad necesaria es 40.6 A (10×4.06). Se selecciona el cable UF (4-2 w / gnd) del número 4 AWG para el tendido hasta el centro de control. Trabaja a una temperatura ambiente de 40°C y tiene una ampacidad de 57.4 A (70×0.82). Este es un cable de 60°C con conductores de 90°C . Hay que tener cuidado cuando se conecte a fusibles especificados sólo para conductores de 75°C .

En la caja de control se coloca un cortacircuito de 60 A que sirve de desconexión del campo FV y como protección para el cable UF. El *NEC* permite el tamaño inmediatamente superior; en este caso 60 A, que está por encima de los 57 A de ampacidad del cable. Para la desconexión de la batería se usan dos fusibles monopolares extraíbles. El fusible del circuito de carga es de 60 A y del tipo RK-5.

El inversor tiene una potencia continua de 500 W a 10.75 V y una eficiencia del 90% a este nivel de potencia. La ampacidad necesaria para el circuito de entrada es 64.6 A ($(500 / 10.75 / 0.90) \times 1.25$).

Los cables que van desde la batería hasta el centro de control tienen que adaptarse a los 64.6 A requeridos por el inversor, más los 6.25 (1.25×5) de carga dc. El cable THHN del número 4 AWG tiene una ampacidad de 85 A cuando va bajo tubo y se evalúa con 75°C de aislamiento. Esto supera los 71 A ($64.6 + 6.25$) requeridos. Se puede usar este cable en el centro de control para el tendido desde las baterías hasta el inversor.

El fusible del circuito de descarga debe ser al menos de 71 A. Podría usarse un fusible de 80 A, que es menos que la ampacidad del cable.

En el circuito dc de consumo se utiliza cable NM del número 10 AWG (con ampacidad de 30 A) y se protege con un cortacircuito de 15 A.

El conductor del electrodo de tierra es del número 4 AWG y se dimensiona para ajustarse al mayor conductor del sistema, que es el que va desde el campo hasta el centro de control.

Los conductores de puesta a tierra del campo y del circuito de carga pueden ser del número 10 AWG, basándose en los dispositivos contra sobreintensidades de 60 A [Tabla 250-95]. El conductor de puesta a tierra del inversor debe ser del número 8 AWG.

Todos los componentes han de tener una capacidad de tensión dc de $1.25 \times 20.7 = 26$ V.

EJEMPLO 6 Sistema Residencial Híbrido de Medio Tamaño

Tamaño del campo: 40 módulos de 12 V y 53 W $I_{sc} = 3.4$ A, $V_{oc} = 21.7$ V

Baterías: 1000 A·h a 12 V

Generador: 6 kW, 240 V ac

Cargas: 15 A dc y un inversor de 4000 W y eficiencia = .85

Descripción

Los 40 módulos (2120 W) están situados en el tejado distribuidos en subcampos de ocho módulos dotados de seguimiento según un eje. Los ocho módulos se conectan en serie y paralelo para formar un sistema de 24 V. Hay cinco circuitos fuente que van hasta un centro de potencia hecho a medida. En cada circuito fuente se utiliza cable monopolar desde los módulos hasta la caja de conexiones situada en el tejado. Desde las cajas de conexiones se lleva cable UF aislado hasta el centro de potencia principal.

Para minimizar las caídas de tensión en el sistema no se utilizan diodos de bloqueo.

En conformidad con la exigencias de la Sección 690-5 del *NEC*, se utiliza un prototipo detector de falla a tierra del campo.

El controlador de carga es de tipo relé.

Las cargas dc consisten en un frigorífico, un congelador, varios aparatos de teléfono y dos lámparas fluorescentes. La corriente pico es 15 A.

El inversor de 4000 W de onda senoidal sirve para alimentar al resto de la casa.

El generador de 6 kW movido por un motor de gas natural proporciona la energía de apoyo y la carga de la batería a través del inversor. La tensión de salida del generador de 240 V va hasta un transformador de 5 kVA para reducirla hasta 120 V para su uso en el inversor y en la casa. El devanado primario del transformador se protege con un cortacircuito de 30 A [450-3(b)(1) Ex-1]. En la Figura 6 se muestran los detalles.

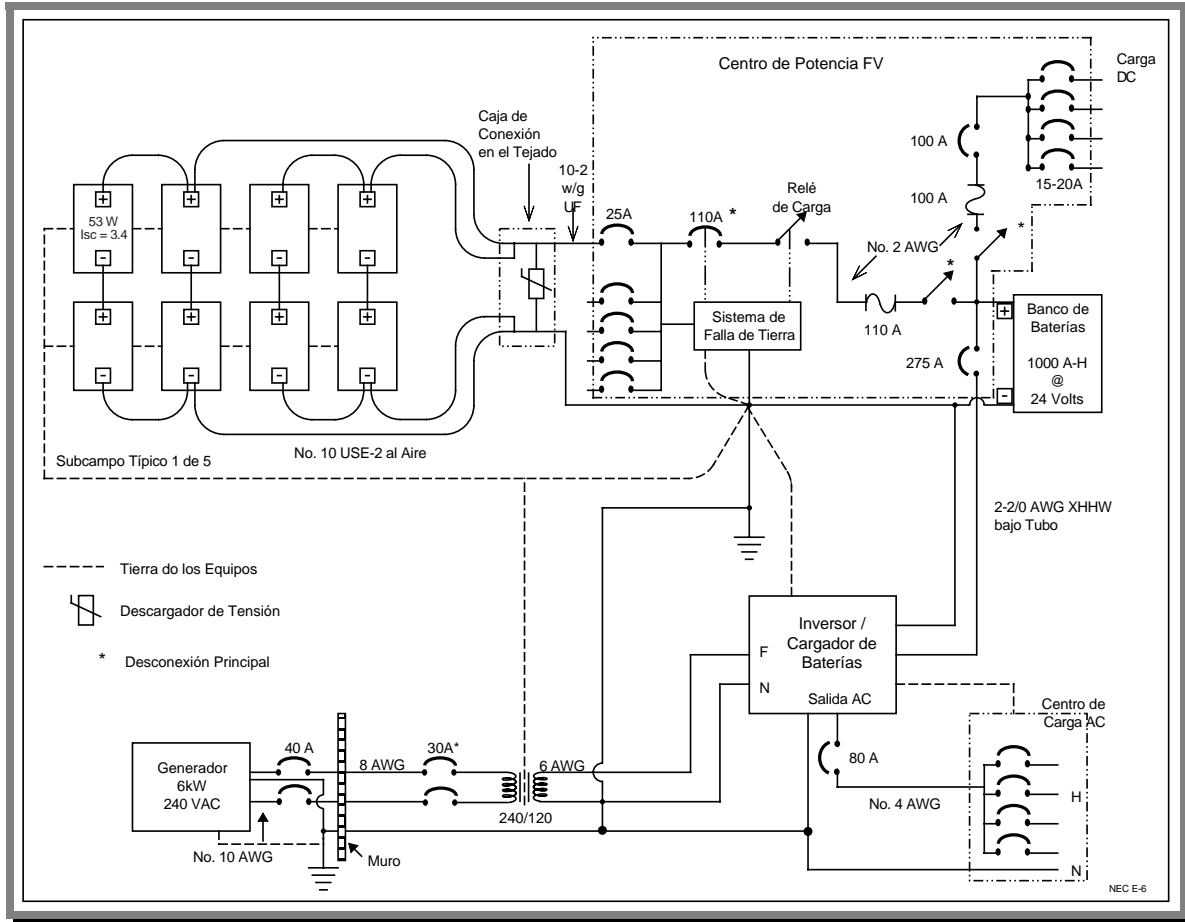


Figura E-6. Sistema Residencial Híbrido de Tamaño Medio

Cálculos

La corriente de cortocircuito de cada subcampo es 13.6 A (4 x 3.4).

125% (UL): $1.25 \times 13.6 = 17 \text{ A}$

125% (NEC): $1.25 \times 17 = 21.25 \text{ A}$

El factor de disminución de ampacidad para el cable USE-2 es 0.58 a 61-70°C.

El cable USE-2 del número 10 AWG tiene una ampacidad a 70°C de 31.9 A (55 x 0.58).

El factor de disminución de ampacidad para el cable UF es 0.82 a 36-40°C.

El cable UF número 10-2 w / gnd tiene una ampacidad a 40°C de 24.6 A (30 x 0.82). Como el aislamiento del cable UF está especificado hasta 60°C, cuando se conecta este cable a cortacircuitos especificados para usar conductores de 75°C no es necesario realizar más cálculos en función de la temperatura.

Los cortacircuitos de los circuitos fuente tienen una capacidad de 25 A (lo requerido es el 125% de 17 A = 21.25).

La corriente de cortocircuito del campo es 68 A (5 x 13.6).

125% (*UL*): $1.25 \times 68 = 85 \text{ A}$
125% (*NEC*): $1.25 \times 85 = 106 \text{ A}$

Se usa un cortacircuito de 110 A para la desconexión principal del campo FV y se coloca después de la combinación de los cinco circuitos fuente.

Se coloca un fusible limitador de corriente RK5 en el circuito de carga del centro de potencia y se cablea con conductores THHN del número 2 AWG (170 A con aislamiento de 75°C).

En los circuitos de consumo se usa cable NM del número 10-2 w / gnd (30 A) y se protegen con cortacircuitos de 20 o 30 A. Un fusible RK-5 de 100 A protege estos circuitos de consumo frente a la corriente excesiva de las baterías.

Inversor

El inversor puede generar 4000 W ac a 22 V con una eficiencia del 85%.
La corriente de entrada en el inversor necesaria es 267 A ($(4000 / 22 / 0.85) \times 1.25$).

Entre el inversor y las baterías se disponen en paralelo, bajo tubo, dos cables USE-2 del número 2 / 0 AWG . La ampacidad de este cable (especificada a 75°C de aislamiento) es 280 A ($175 \times 2 \times 0.80$) a 30°C. El factor 0.8 de disminución es necesario porque en el tubo hay cuatro cables portadores de corriente.

Entre la batería y el inversor se usa un cortacircuito de 275 A con un poder de corte de 25,000 A. En este circuito no es necesario un fusible limitador de corriente.

El inversor puede entregar a su salida 4000 W ac (33 A) en el modo inversor. También pueden pasar por el inversor hasta 60 A procedentes del generador mientras el inversor está en el modo de carga de baterías.

Ampacidad necesaria en la salida ac: $60 \times 1.25 = 75 \text{ A}$. Esto pone de manifiesto la exigencia del *NEC* de que los circuitos no deben funcionar de forma continuada a más del 80% de su capacidad.

El inversor se conecta al centro de carga en alterna con conductores THHN del número 4 AWG bajo tubo, que tienen una ampacidad de 85 A a 30°C cuando se usan con dispositivos contra sobreintensidades especificados para 75°C. Cerca del inversor se coloca un cortacircuito de 80 A para proporcionar la función de desconexión y la protección de este cable frente a sobreintensidades.

Generador

El generador de 6 kW y 120 / 240 V tiene cortacircuitos internos de 27 A (6500 W de capacidad pico). El *NEC* exige que la capacidad de los conductores de salida entre el generador y el primer dispositivo limitador de corriente instalado en el exterior sea al menos el 115% de la especificada en la placa de características ($(6000 / 240) \times 1.15 = 28.75 \text{ A}$). Como el generador se conecta a través de una toma empotrada, se utiliza cable portátil flexible SOW-A del número 10-4 AWG hasta la caja exterior tipo NEMA 3R del cortacircuito. Este cortacircuito tiene una capacidad de 40 A y proporciona protección contra sobreintensidades a los conductores THHN del número 8 AWG que van hasta el transformador. Estos conductores tienen una ampacidad de 44 A (50×0.88) a

40°C (aislamiento de 75°C). El cortacircuito también sirve para desconectar el generador desde el exterior. Como el transformador aísla los conductores del generador de la tierra del sistema, el neutro del generador se pone a tierra en el desconectador exterior.

Se coloca un cortacircuito de 30 A cerca del Centro FV de Potencia, en la línea ac entre el generador y el transformador. Este cortacircuito sirve para la desconexión ac del generador y se agrupa con los otros desconectores del sistema.

La salida del transformador es 120 V. Usando la capacidad del generador, la ampacidad de este cable de ser 62.5 A $((6000 / 120) \times 1.25)$. Se usó un conductor THHN del número 6 AWG, que tiene una ampacidad de 65 A a 30°C (75°C de aislamiento).

Puesta a Tierra

Los conductores de tierra de los módulos y de las cargas dc deben ser del número 10 AWG. Se proporcionará una protección adicional contra los rayos si se lleva un conductor del número 6 AWG, o mayor, desde la estructura del campo hasta tierra. El conductor de tierra del inversor debe ser del número 4 AWG, basándose en el tamaño del dispositivo de protección contra sobretensiones de este circuito. El conductor del electrodo de tierra debe ser del número 2-2 / 0 AWG o de 500 kcmil, a no ser que haya algún otro conductor conectado al electrodo de tierra; entonces, este conductor se puede reducir hasta el número 6 AWG [excepciones 250-93].

Capacidad de Tensión DC

Todos los circuitos dc han de tener una capacidad de al menos 55 V (1.25 x 2 x 22).

EJEMPLO 7 Sistema Conectado a la Red en lo Alto del Tejado

Tamaño del campo: 24 módulos de 50 V y 240 W $I_{sc} = 5.6$ A, $V_{oc} = 62$
Inversor: Entrada 200 V dc, salida 240 V ac a 5000 W con una eficiencia de 0.95.

Descripción

El campo situado en el tejado consta de seis filas conectadas en paralelo, de cuatro módulos cada una. Al final de cada fila hay un caja de conexiones que contiene un descargador de tensión, un diodo de bloqueo y un fusible. Todo el cableado se hace con cable THHN bajo tubo. El inversor se encuentra junto al centro de carga de la entrada de servicio, donde se inyecta la energía FV en la red a través de un cortacircuito de rearme automático. En la Figura E-7 se muestra el diagrama del sistema.

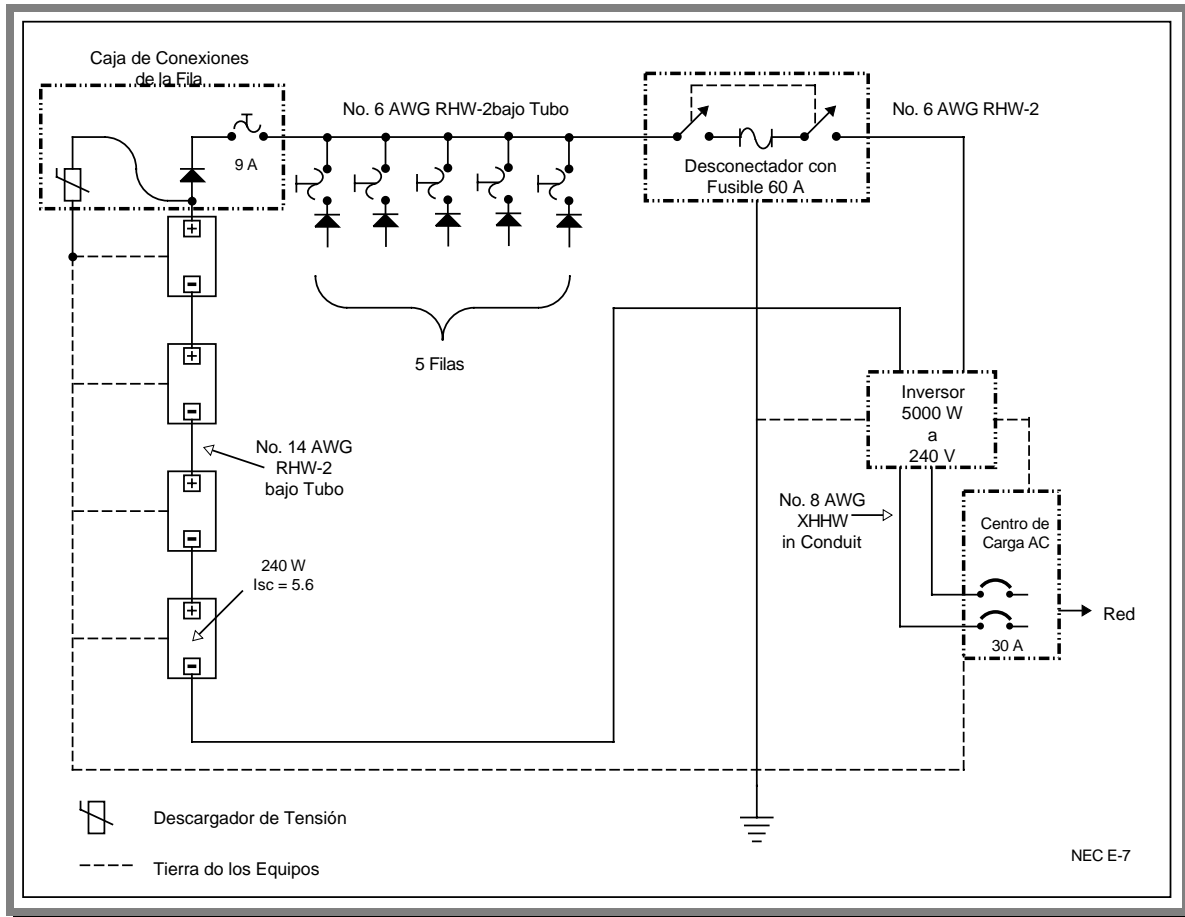


Figura E-7. Sistema Conectado a la Red en el Tejado

Cálculos

La corriente de cortocircuito de cada fila 5.6 A.

125% (UL): $1.25 \times 5.6 = 7 \text{ A}$

125% (NEC): $1.25 \times 7 = 8.75 \text{ A}$

La corriente de cortocircuito del campo es 33.6 A (6 x 5.6).

125% (UL): $1.25 \times 33.6 = 42 \text{ A}$

125% (NEC): $1.25 \times 42 = 52.5 \text{ A}$

Los módulos de cada fila se conectan en serie. Los conductores trabajan a 63°C. El factor de disminución de ampacidad para el cable RHW-2 es 0.58 a esta temperatura. La ampacidad de este cable a 30°C es 12.1 A ($7.0 / 0.58$). El cable del número 14 AWG tiene una ampacidad de 25 A con aislamiento de 90°C y 20 A con aislamiento de 75°C, así que se puede conectar sin problemas el cable al fusible, ya que los 7 A están por debajo de cualquiera de estas ampacidades.

Este cable se protege con un fusible de 9 A.

El cable que va desde las cajas de conexiones de cada fila hasta el desconector FV principal, trabaja a 40°C. El factor de disminución de ampacidad para el cable RHW-2 con aislamiento de 90°C es 0.91. Esto da lugar a una ampacidad de 58 A ($52.5 / 0.91$) a 30°C. El cable del número 6 AWG cumple esos requisitos con una

ampacidad de 75 A (90°C de aislamiento) y un cable del número 6 AWG con 75°C de aislamiento tiene una ampacidad de 65 A, que también es mayor que los 42 A necesarios.

Un desconectador con fusible de 60 A proporciona la protección contra sobreintensidades. Como el conductor negativo del campo está puesto a tierra, sólo se necesita un desconectador monopolar.

La corriente de salida del inversor es 21 A (5000 / 240).

125% (NEC): $1.25 \times 21 = 26$ A .

El cable que va desde el inversor hasta el centro de carga trabaja a 30°C. El cable XHHW del número 8 AWG (evaluado con 75°C de aislamiento) tiene una ampacidad de 50 A.

Un cortacircuito bipolar realimentado de 30 A proporciona una desconexión ac y protección contra sobreintensidades en el centro de carga.

Los conductores de puesta a tierra de los equipos en este sistema deberían ser al menos del número 10 AWG. El conductor del electrodo de puesta a tierra del sistema debería ser del número 6 AWG.

Todos los circuitos dc deberían tener una capacidad de tensión de al menos 310 V ($1.25 \times 4 \times 62$).

EJEMPLO 8 Sistema Conectado a la Red con Módulos Integrados en el Tejado

Tamaño del campo: 192 módulos de capa delgada de 12 V y 22 W $I_{sc} = 1.8$ A,
 $V_{mp} = 15.6$ V, $V_{oc} = 22$ V

Inversor: entrada de ± 180 V dc, salida de 120 V ac, 4000 W, .95 de eficiencia

Descripción

El campo está integrado en la cubierta del tejado. Los módulos están conectados en dos filas de 24 módulos cada una, con toma neutra intermedia. Las filas se conectan en paralelo para formar el campo. Hay un diodo de bloqueo en serie con cada fila. Las filas se agrupan en dos conjuntos de cuatro y un fusible en serie protege el cableado de los módulos y de las filas tal y como se muestra en la Figura E-8. El inversor bipolar tiene una entrada dc para la toma neutra intermedia y el neutro de salida ac está puesto a tierra. La salida ac de 120 V se conecta al centro de carga de entrada del servicio (a quince pies de distancia) a través de un cortacircuito realimentado.

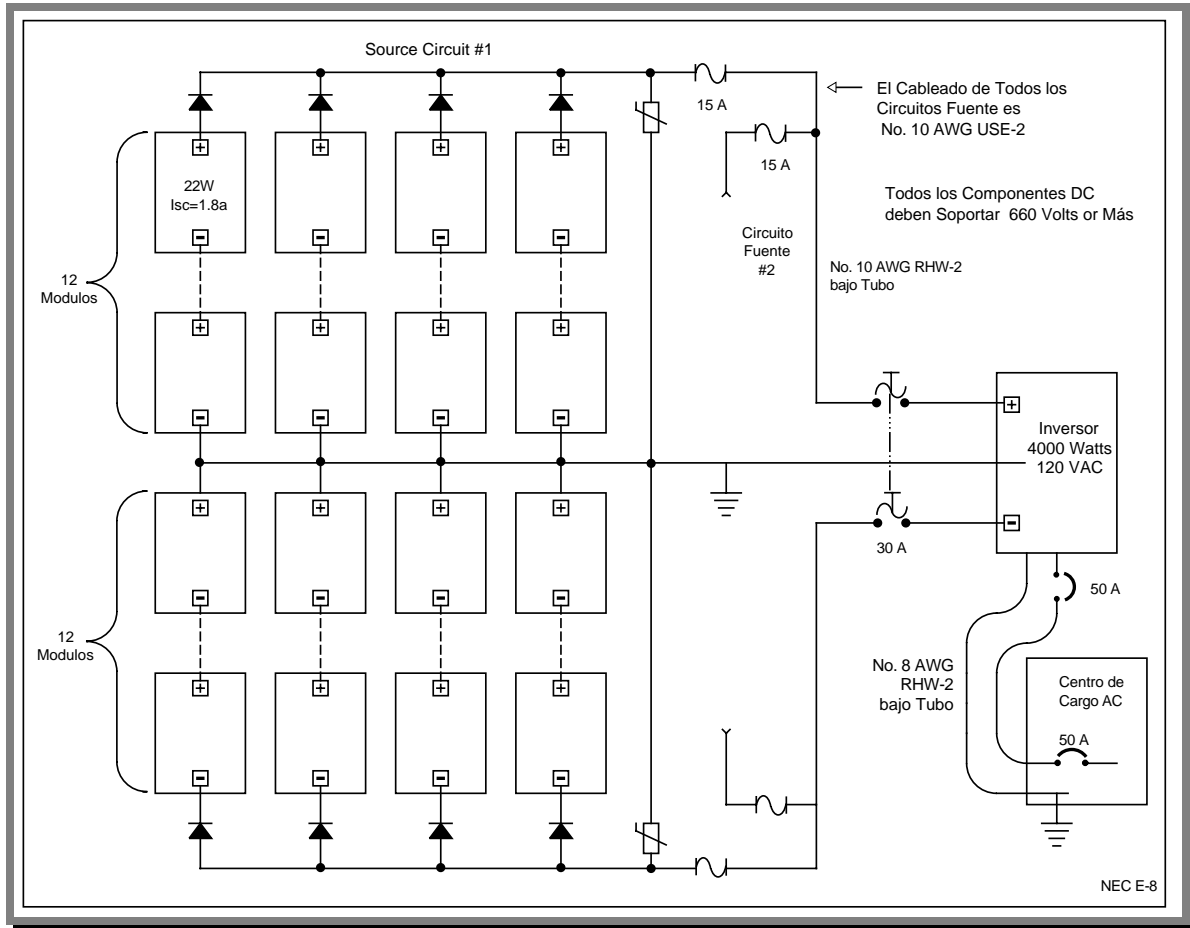


Figura E-8. Sistema FV con Módulos Integrados en el Tejado

Cálculos

La corriente de cortocircuito de cada fila es 1.8 A.

125% (UL) (estimado para módulos de capa delgada): $1.25 \times 1.8 = 2.25$ A

125% (NEC): $1.25 \times 2.25 = 2.8$ A

La corriente de cortocircuito de cada circuito fuente (4 filas) es 7.2 A (4×1.8).

125% (UL): $1.25 \times 7.2 = 9$ A

125% (NEC): $1.25 \times 9 = 11.25$ A

La corriente de cortocircuito del campo (dos circuitos fuente) es 14.4 A (2×7.2).

125% (UL): $1.25 \times 14.4 = 18$ A

125% (NEC): $1.25 \times 18 = 22.5$ A

Se usa cable USE-2 para los módulos, que trabaja a 75°C cuando se conecta a los módulos integrados en el tejado. El factor de disminución de la ampacidad en el tendido es 0.41. En las filas la ampacidad a 30°C es 5.5 A ($2.25 / 0.41$).

Cada circuito fuente también se ve sometido a temperaturas de 75°C. La ampacidad de este cable (a 30°C) es 22.0 A ($9 / 0.41$).

Se selecciona cable USE-2 del número 10 AWG resistente a la humedad y al calor. Tiene una ampacidad de 40 A a 30°C (90°C de aislamiento) y puede

soportar 35 A cuando se limita el aislamiento a 75°C. Este cable se usa tanto para las filas como para los circuitos fuente. Se usan fusibles de quince A para proteger los conductores de las filas y de los circuitos fuente.

El cableado del campo se realiza en el interior del edificio y se usa cable XHHW-2 bajo tubo. Trabaja a 50°C cuando atraviesa el ático. El factor de disminución de la ampacidad es 0.82, resultando una ampacidad a 30°C de 22 A ($18 / 0.82$). El cable del número 10 AWG tiene una ampacidad de 40 A (90°C de aislamiento) o 35 A (evaluada con aislamiento de 75°). Ambas ampacidades superan los 22 A requeridos. Se necesitan fusibles de 25 A para proteger estos cables, pero se seleccionan de 30 A para una mayor resistencia a las sobrecargas. Como el inversor tiene tensiones muy elevadas en los terminales de entrada dc (cargados desde la conexión ac de la red), se usa un cartucho de fusibles extraíbles.

El inversor tiene una potencia de 4000 W a 120 V y entrega una corriente a la salida de 33 A. La ampacidad necesaria del cable que une el inversor y el centro de carga es 42 A ($(4000 / 120) \times 1.25$) a 30°C. Un cable RHW del número 8 AWG bajo tubo, conecta el inversor al centro de carga ac que está a 15 pies de distancia y tiene una ampacidad de 50 A a 30°C para un aislamiento de 75°C. Se coloca junto al inversor una caja pequeña con un cortacircuito de 50 A para proporcionar al inversor una desconexión ac y que se puede agrupar con el desconectador dc. Para la conexión con la red, en el centro de carga de entrada del servicio se usa otro cortacircuito de 50 A realimentado.

Los módulos no tienen marco y, por tanto, no es necesaria la puesta a tierra de los equipos. El inversor y la aparamenta deberían tener conductores de puesta a tierra de los equipos del número 10 AWG. El conductor del electrodo del sistema de puesta a tierra debería ser del número 8 AWG.

Todos los componentes dc del sistema deberían tener una capacidad mínima de tensión de 660 V ($24 \times 22 \times 1.25$). Esta tensión supera los 600 V usuales en los equipos disponibles. Los conductores deberían tener aislamiento de 1000 o 2000 V y todos los fusibles, portafusibles e interruptores deberían estar especificados para una tensión mayor que 660 V. Como alternativa de diseño, se podría reducir la tensión de entrada necesaria para el inversor, de forma que sólo se necesitasen 20 módulos en cada fila conectados en serie. Esto reduciría las exigencias de tensión a 550 V ($22 \times 20 \times 1.25$).