



Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigación en Energía

CURSO-TALLER SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



**Código NEC y
Seguridad**
en Sistemas FV's



Resumen



- ❖ Los códigos y reglamentos son el producto de muchos años de experiencia.
- ❖ Las instalaciones que cumplen con los reglamentos son mas seguras y duraderas.
- ❖ La aplicación de los reglamentos impacta el costo del sistema.
- ❖ En la actualidad, se siguen instalando sistemas que no cumplen con los reglamentos.



Norma eléctrica reguladora



En USA

**Código Eléctrico Nacional 1999
(NEC, 1999)**

**Publicado por la Asociación
Nacional de Protección contra
Incendios (NFPA)**

En México

NOM-001-SEDE-2005

**Emitida por SECOFI en
base al Código Eléctrico
Nacional, USA**

OBJETIVO

- - ⊗ Asegurar instalaciones confiables para reducir el riesgo de accidentes y daños a la propiedad.
 - ⊗ Se aplica a todos los sistemas eléctricos autónomos o conectados a la red eléctrica de distribución.

No regula sistemas automotrices, trenes, aviones, barcos, equipo electrónico sin contactos externos o equipo exclusivo de compañías telefónicas.



La norma NEC y NOM-SEDE son de carácter obligatorio.

La autoridad para hacer cumplir la Norma esta representada por las Unidades de Verificación de Instalaciones Eléctricas o peritos correspondientes nombrados por autoridades municipales.

La **NORMA** especifica que todos los equipos o aparatos eléctricos que se usen para cualquier fin deben de estar **certificados**.



Aplicación de las Normas



El proceso de certificación se basa en pruebas de funcionamiento y operación, identificación y etiquetación de las características eléctricas del equipo.

Este proceso sólo lo pueden realizar Laboratorios de Ensayo autorizados:

UL (Underwrites Laboratories) en USA.

FM (Factory Mutual Research) en Canadá.

ETL (Environmental Testing Laboratories) en Europa.

Registro NOM de SECOFI en México.



Artículos de NEC para Sistemas Fotovoltaicos (SFV).



- El artículo 690 del NEC y NOM-SEDE se aplica específicamente a los sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la red.
- Los siguientes artículos, entre otros, se aplican a los subsistemas en SFV
 - ☛ Artículo 210 a circuitos ramales
 - ☛ Artículo 240 para protección contra sobrecorriente.
 - ☛ Artículo 250 para la puesta a tierra.
 - ☛ Artículo 300 para métodos de cableado.



SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

- A. Disposiciones generales.**
- B. Requisitos para circuitos.**
- C. Medios de desconexión.**
- D. Métodos de alambrado.**
- E. Puesta a tierra.**
- F. Marcado.**
- G. Interconexión a otras fuentes de energía.**
- H. Acumuladores.**



- Para Interconexión de los Módulos
 - Monoconductores resistentes a la luz solar con aislante de 90°C en lugares mojados (LM)
 - NEC-99 acepta los tipos USE-2 y UF resistente a la luz solar
 - NOM-99 permite los tipos TWD-UV (cable plano duplex), con aislante de 60°C en LM
 - Cables monoconductores o poli-conductores en tubos con aislante de 90°C en LM
 - La Norma acepta tipos RHW-2, THW-2, THWN-2
 - No se permite usar cables mono-conductores sin ductos, excepto en el arreglo FV



Nomenclatura de Conductores



Tipo	Descripción
T	Aislante de termoplástico
H	Aislante de 75 °C. *
HH	Aislante de 90 °C
N	Cubierta de Nylon
W	Resistente a la humedad
R	Aislante de caucho
U	Uso subterráneo
USE	Cable de acometida subterránea **
UF	Cable de alimentación subterránea **
SE	Cable de acometida **
-2	Aislante de 90 °C en lugares mojados

* Ausencia de "H" significa aislante de 60°C

** Puede ser cable monoconductor o de varios conductores



Cálculo de Conductores



EL cálculo de conductores se realiza por la capacidad de conducción de Corriente, a ésta se le denomina **AMPACIDAD**, la cual se encuentra limitada por los Factores:

- Conductividad del Metal.
- Capacidad Térmica del aislamiento.

Para cualquier cálculo de ampacidad, de acuerdo con las normas “UL y NEC” se requiere que la Corriente de diseño sea:

$$I = I_{SC} \times 1.25 \times 1.25$$

donde: I_{SC} es la Corriente a corto circuito del arreglo FV.



Recomendaciones



- **Limitar Caídas de Voltaje al 3% para sistemas FV con voltajes nominales menores o iguales a 48V, y hasta el 5% para voltajes mayores de 48V.**
- **Si se dispone de una tabla para R_L , seleccionar el calibre inmediato mayor a la R_L calculada.**
- **Si se tiene varias cargas alimentadas por un mismo circuito, considerar la carga típica y calcular el calibre por secciones.**



TABLA DE VALORES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR KILÓMETRO DE LONGITUD PARA CABLES COMERCIALES

$$R_L = \Delta V \times 1000 / I \times L$$

Referencia:
Manual de Ingeniería Eléctrica
13a. Edición
Donal G. Fink & H. Wayne Beaty
Editorial: Mc Graw-Hill

Resistencia para cordones flexibles SMI^{MR}

Calibre AWG	Resistencia C.D. Ohms/km		Resistencia C.A. Ohms/km	
	25°C	60°C	25°C	60°C
20	34.7	39.4	34.7	39.4
18	21.8	24.7	21.8	24.7
16	13.7	15.6	13.7	15.6
14	8.61	9.8	8.61	9.8
12	5.42	6.2	5.42	6.2

Resistencia para cables de cobre sin estañar cableado concéntrico, Comprimido y compacto

Calibre AWG kCM	Resistencia C.D. Ohms/km			Resistencia C.A. Ohms/km		
	25 °C	75 °C	90 °C	25 °C	75 °C	90 °C
20	34.6	41.3	43.3	34.6	41.3	43.3
18	21.8	26.0	27.3	21.8	26.0	27.3
16	13.7	16.3	17.1	13.7	16.3	17.1
14	8.60	10.3	10.76	8.60	10.3	10.76
12	5.42	6.47	6.77	5.42	6.47	6.77
10	3.40	4.06	4.26	3.40	4.06	4.26
8	2.14	2.55	2.68	2.14	2.55	2.68
6	1.34	1.60	1.68	1.34	1.60	1.68
4	0.84	1.01	1.06	0.84	1.01	1.06
2	0.533	0.636	0.666	0.534	0.637	0.667
1/0	0.335	0.400	0.419	0.335	0.401	0.420
2/0	0.265	0.316	0.332	0.265	0.317	0.333
3/0	0.211	0.252	0.264	0.212	0.253	0.265
4/0	0.167	0.199	0.209	0.170	0.202	0.212
250	0.141	0.168	0.177	0.144	0.171	0.179
300	0.118	0.141	0.147	0.122	0.144	0.150
350	0.101	0.121	0.126	0.105	0.124	0.130
400	0.0884	0.105	0.110	0.0933	0.110	0.115
500	0.0707	0.0844	0.088	0.0769	0.090	0.094
600	0.0589	0.0703	0.073	0.0660	0.076	0.080
750	0.0471	0.0562	0.058	0.0558	0.064	0.066
1000	0.0353	0.0421	0.044	0.0461	0.052	0.054

* Calculada para cables en conduit no metálico en configuración trébol



Cálculo de Ampacidad



- Para el conductor del arreglo, se toma como referencia la corriente de corto circuito multiplicada por 1.56 (Norma).
- Para cualquier otro conductor, se toma como referencia la corriente máxima de operación multiplicada por 1.25



Calibre de Conductores



- No se debe exceder la ampacidad del cable a la temperatura de operación

Tipo	Calibre (AWG)	Temp. Aislante	Ampacidad máxima (amperios)	
			a 30°C	a 60-70°C
Cables monoconductores	14	90°C	30	17.4
		75 °C	25	8.3
	12	90°C	40	23.2
		75 °C	35	11.5
	10	90°C	55	31.9
		75 °C	50	16.5
8	90°C	80	46.8	
	75 °C	70	23.1	
Cables de 2 o más conductores	14	90°C	25	14.5
		75 °C	20	6.6
	12	90°C	30	17.4
		75 °C	25	8.3
	10	90°C	40	23.2
		75 °C	35	11.5
8	90°C	55	31.9	
	75 °C	50	16.5	



➤ Sistemas de corriente alterna

- Blanco para el neutro (puesto a tierra)
- Negro o Gris para el conductor no puesto a tierra

➤ Sistemas de corriente continua

- Blanco o Gris para el negativo (puesto a tierra)
 - **Se puede usar otro color con marcas blancas en los extremos si el conductor es 6 AWG o menor.**
 - **Se permite usar cable negro para las interconexiones del arreglo**
- Negro o Rojo para el positivo



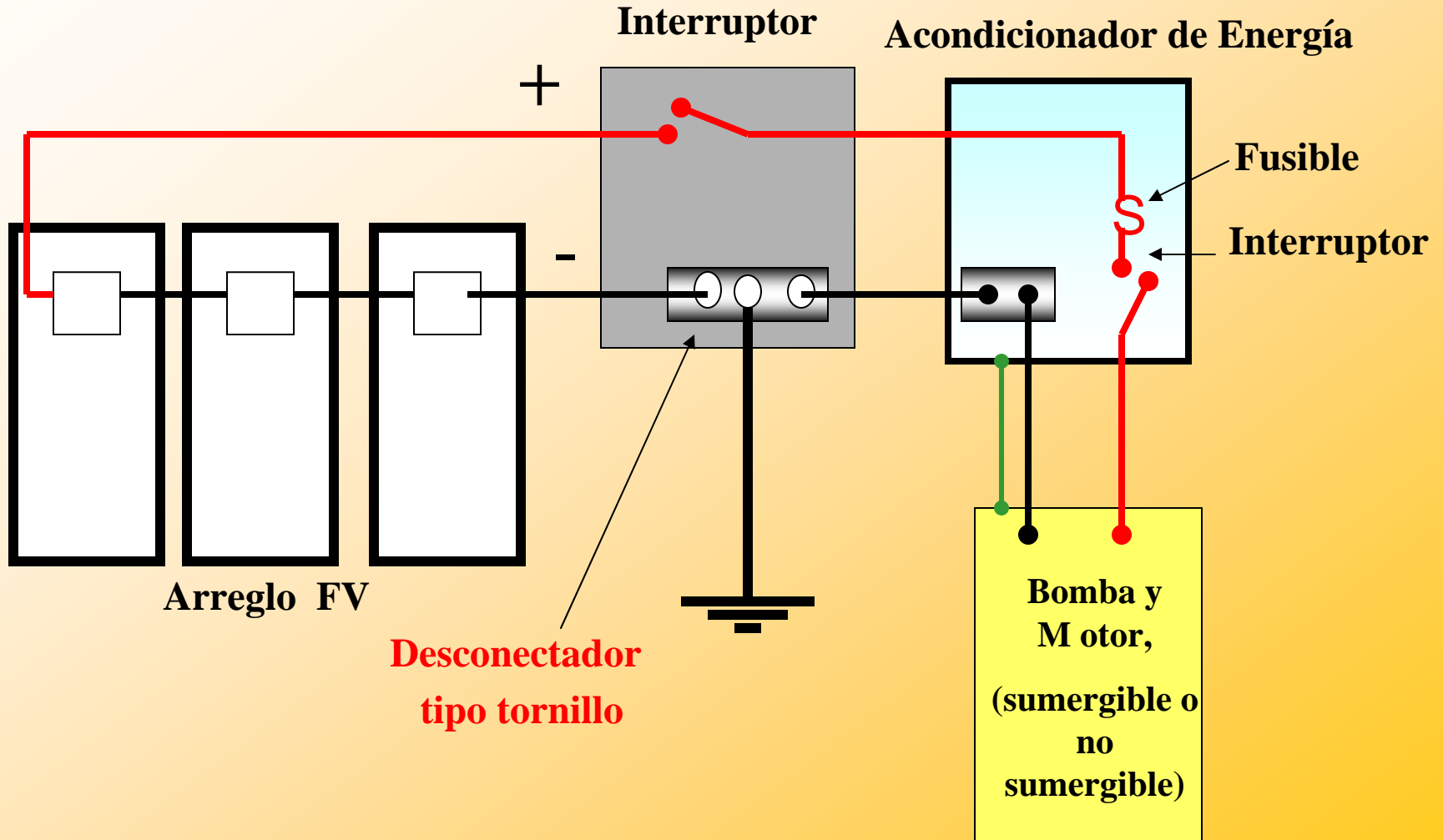
Medios de desconexión



- ◆ **Todo arreglo FV debe tener un medio de desconexión de ambos conductores, si no hay tierra física.**
 - **El (los) conductor(es) no puesto a tierra debe(n) tener un interruptor manual de desconexión.**
 - **El conductor puesto a tierra (si existe) debe tener una desconexión tipo tornillo.**
- ◆ **Cada componente del sistema debe tener una manera de desconexión de todas las fuentes de potencia como arreglo FV y batería.**

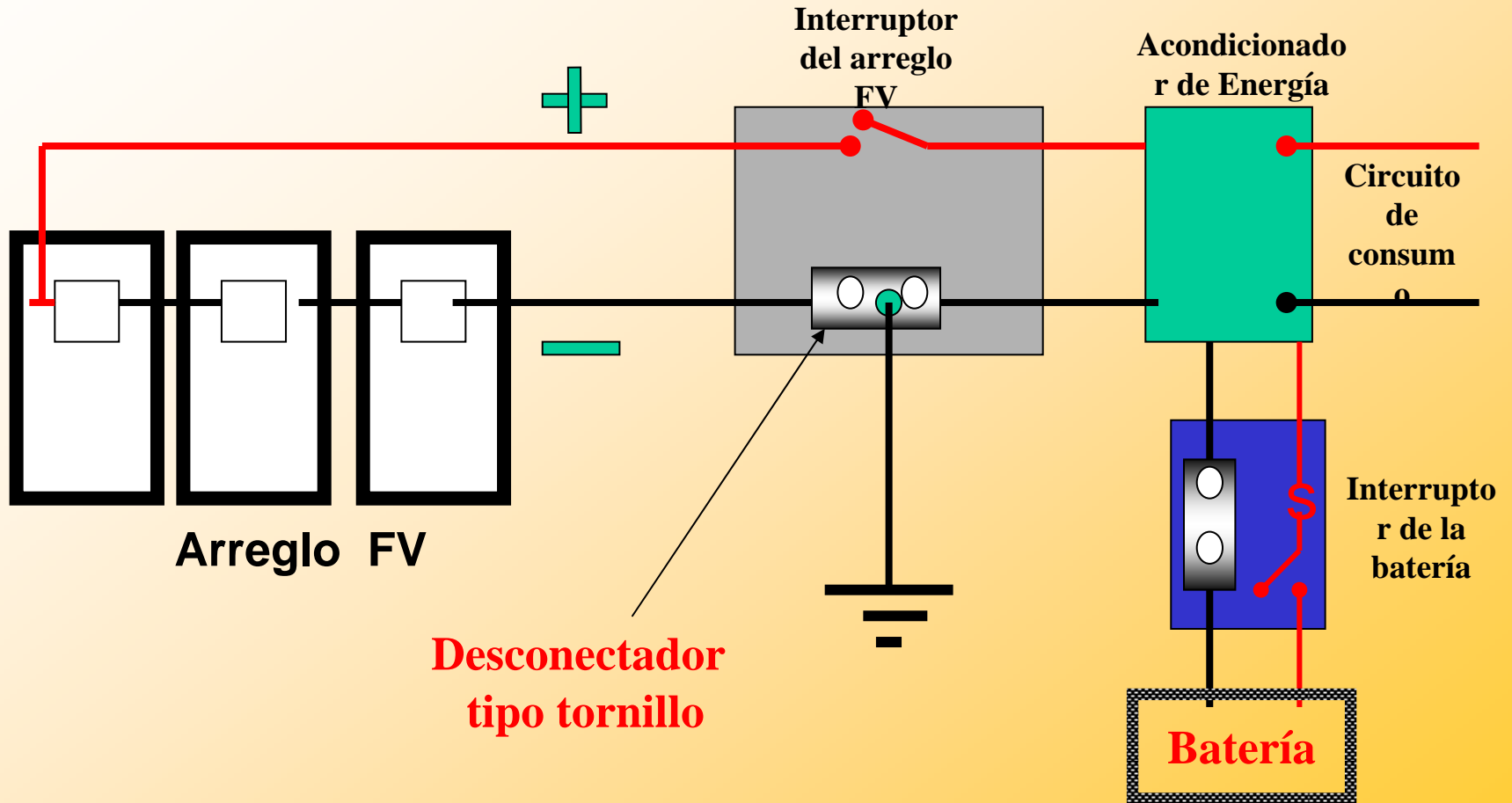


Medios de desconexión





Medios de desconexión





◆ **Deben fundirse a una corriente menor al 80% de la ampacidad del conductor**

◆ **Deben estar listados para uso en c.c., Con rango de voltaje apropiado. No se aceptan fusibles automotrices (no listados).**

↓ **Los fusibles para el arreglo son opcionales para sistemas de bombeo FV**



Puesta a tierra



Tierra de los equipos.

Todas las partes metálicas expuestas del sistema, instaladas permanentemente, deben ser puestas a tierra.

Se incluyen estructuras, marcos de los módulos, gabinetes de interruptores y cajas de conexión.



Puesta a tierra



Tierra del sistema.

Los sistemas de 50 V o más deben tener un conductor de corriente puesto a tierra.

En SFV con 3 o más módulos en serie, el conductor negativo debe ponerse a tierra.

Conductor puesto a tierra.

El cable puesto a tierra nunca debe desconectarse del electrodo de tierra.

En SFV, el conductor negativo se pone a tierra, por lo que no debe haber ningún interruptor o fusible en la trayectoria de dicho conductor.



Electrodo de tierra.

- ⇒ Barra metálica acero cobrizado, resistente a la corrosión, de un diámetro mínimo de 5/8" y 3 m de longitud, enterrada por lo menos 2.5 m (8 pies) con un ángulo máximo de 45° respecto de la vertical.
- ⇒ Ademe metálico del pozo.
- ⇒ Una línea de alambre (cable) desnudo de cobre calibre 4 AWG y por lo menos 7m de longitud enterrado por lo menos 75 cm.



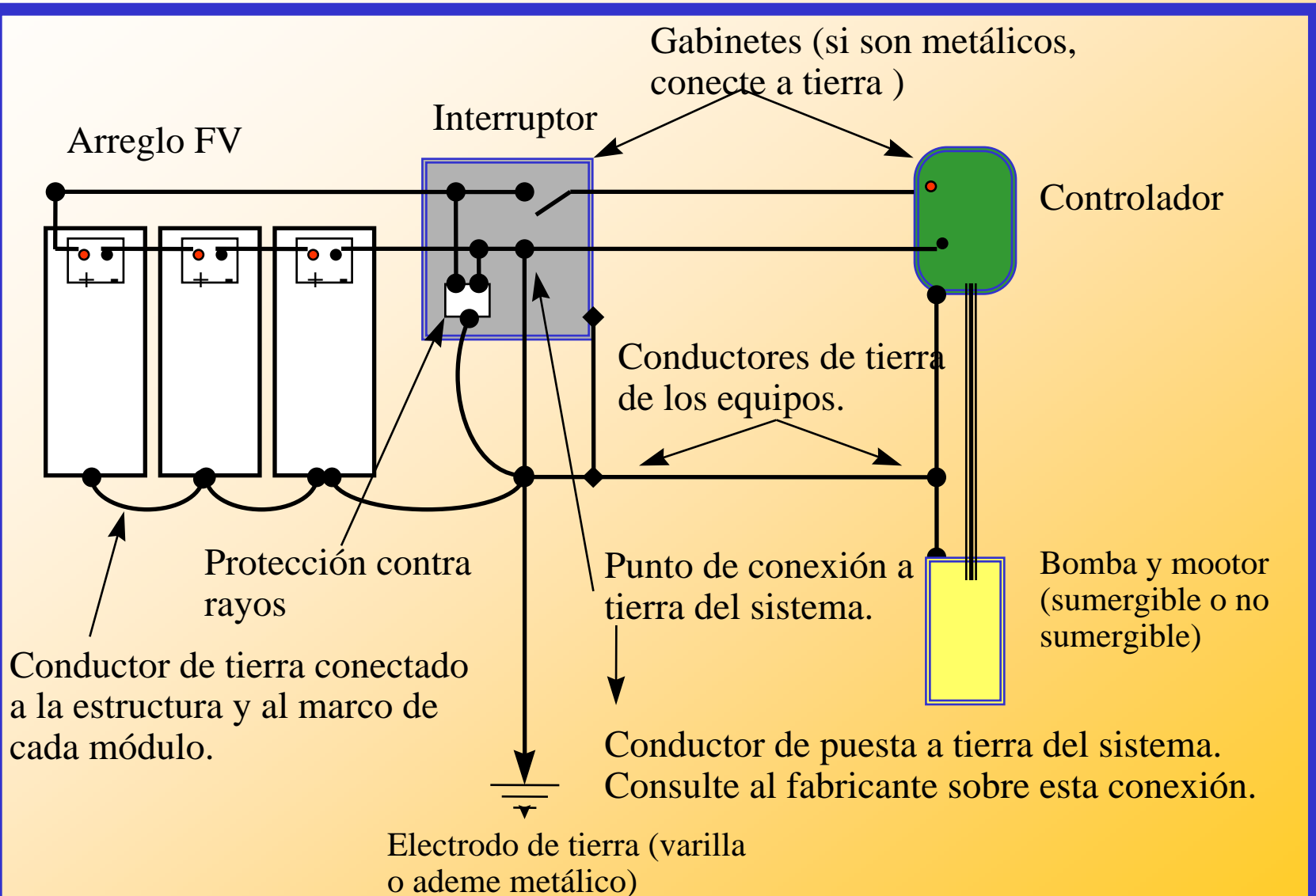
Conductor de puesta a tierra.

Alambre de cobre calibre no inferior al 8 AWG desnudo o en su defecto con recubrimiento verde o verde/amarillo.

Este cable proporciona el camino a tierra entre el electrodo y el punto de puesta a tierra del SFV.



Puesta a tierra de un Sistema de Bombeo FV





◆ Elección del apartarrayos

↓ Los apartarrayos instalados en circuitos de menos de 1000 V deben estar aprobados y certificados para ese fin.

◆ Instalación en sistemas FV

↓ Los conductores protectores deben conectarse al conductor positivo y negativo

↓ El conductor de tierra del apartarrayos debe conectarse a la tierra del sistema, tierra de los equipos o conductor negativo puesto a tierra.



Etiquetado de los Módulos



- ◆ **Polaridad de las terminales**
- ◆ **Tensión a circuito abierto**
- ◆ **Tensión de funcionamiento**
- ◆ **Corriente de funcionamiento**
- ◆ **Corriente de cortocircuito**
- ◆ **Potencia máxima**
- ◆ **Tensión máxima permitida en el sistema**
- ◆ **Poder de corte del dispositivo de sobrecorriente para la protección del módulo**



Gabinetes y cajas



- ♦ Todos los gabinetes deben estar certificados para uso en el ambiente de trabajo requerido.
- Tipo NEMA 1 o 2 - para uso en interiores solamente
- Tipo NEMA 3 o 3R- para uso en intemperie, resistente
a la lluvia y al polvo
- Tipo NEMA 4 o 4X- para uso en intemperie, resistente
a la corrosión, polvo y entrada de agua desde cualquier dirección
- Tipo NEMA 6- sumergibles



Seguridad en Sistemas Fotovoltaicos



Seguridad en sistemas Fotovoltaicos

Para una seguridad completa se debe de contar con :

- ✓ **Habitos seguros en el trabajo.**
- ✓ **Mantener limpia la zona de trabajo.**
- ✓ **Equipo apropiado.**
- ✓ **Herramienta adecuada**
- ✓ **Conocimientos en primeros auxilios.**

La meta es reducir el número de accidentes y lesiones a CERO!!!



Riesgos de choque Eléctrico



Descarga de Corriente	Reacción
C.D A.C	
1mA 6 mA	Cosquilleo tibieza
2 mA 9 mA	Pérdida de control muscular, el reflejo podría causar heridas
20 mA 90 mA	Sévera pérdida de control muscular, no permite soltarse, quemaduras y asfixia
100 mA 500 mA	Arritmia ventricular, muerte probable.
Más de 1 A	Paro cardiaco, incremento de la temperatura corporal, la muerte ocurre en minutos.



Cuando trabaje con un sistema Fotovoltaico:

- » Tenga una mente alerta, un instinto escéptico y una mano lenta.
- » NUNCA trabaje solo con un sistema fotovoltaico.
- » Tenga conocimiento del sistema FV.
- » Inspeccione su equipo de pruebas.
- » Use ropa apropiada.
- » Siempre que mida primero tenga escepticismo.



Cuando está probando un Sistema FV

- ¡ Nunca pruebe un sistema FV solo !
- Despójese de la joyería.
- Inspeccione el sistema visualmente y note riesgos y problemas.
- Localice desconectores.
- Mida el voltaje de circuito abierto.
- Mida el voltaje de cada conductor
- Localice el equipo de seguridad y el teléfono (si existe).



Riesgos Eléctricos



Los módulos fotovoltaicos producen electricidad en corriente directa!!!

Valores típicos: $V_{ca} = 21 \text{ V}$; $I_{cc} = 3.4 \text{ A}$; $V_{mp} = 17 \text{ V}$; $I_{mp} = 3.1 \text{ A}$

Siempre que un arreglo FV tenga más de dos módulos en serie, se debe considerar que existe el riesgo de choque eléctrico

Valores típicos: $34 \text{ V} - 3.1 \text{ A}$



Sugerencias para mantener la seguridad

- Verifique que los sistemas de desconexión funcionen adecuadamente, cuando se revise un sistema FV.
- Siempre mida la tensión de cada conductor a tierra y de línea a línea.
- Use un medidor de amperes para medir la corriente eléctrica.
- Utilice la herramienta adecuada para el trabajo que quiera realizar, !NO IMPROVISE !



Sugerencias para mantener la seguridad

- **Deje la zona del trabajo limpia.**
- **Nunca desconecte un alambre sin antes medir el voltaje.**
- **Tenga las manos secas y use guantes.**
- **Cuando un alambre esté desconectado, tape la punta.**
- **Reconecte los alambres del circuito antes de desconectar otro circuito.**



Seguridad

Riesgos no Eléctricos




- Exposición a la intemperie.
- Insectos, víboras, y otros animales ponzoñosos.
- Cortaduras y golpes.
- Caídas, torceduras, y desgarramientos.
- Quemaduras -térmicas.
- Quemaduras -químicas.



Sistemas FV seguros, confiables y durables



Sugerencias para los Usuarios

-  Haga que todas sus instalaciones FV sean inspeccionadas por una autoridad local.
-  Demande calidad, no bajo precio.
-  Haga planes de mantenimiento.



Sistemas FV seguros, confiables y durables



Sugerencias para los Instaladores/Proveedores

- ✘ Tenga familiaridad con los métodos de alambrado de sistema de potencia AC residenciales y comerciales.**
- ✘ Use siempre componentes de reconocida calidad.**
- ✘ Si utiliza componentes desconocidos o no certificados, ensamblelos en cajas de buena calidad.**



Sistemas FV seguros, confiables y durables



Sugerencias para los Fabricantes



Construya su equipo de acuerdo a estándares aceptables.



Haga que su equipo sea aprobado y certificado.



Proporcione las capacidades de CD para los componentes de su sistema.



Gracias

sgestec@cie.unam.mx

www.cie.unam.mx