

# Propuesta para redes de tierra interconectadas en sistemas eléctricos que incluyen generadores de energía mediante recursos renovables

Proposal of ground networks interconnecting electrical systems including green power generators

Recibido: : 2 de octubre 2014, aceptado: 15 de diciembre 2014

Federico Machado\*

## Resumen

Los sistemas de puesta a tierra representan un componente importante en las protecciones que poseen las instalaciones eléctricas. Diferentes formas de generación de la energía eléctrica mediante recursos renovables incluyen la necesidad de ubicar estructuras de soporte en áreas expuestas a muy diversas inclemencias atmosféricas, entre ellas, los rayos. De manera adicional, muchos de los equipos de monitoreo y control para los generadores de energías renovables, tienen un alto grado de sensibilidad a perturbaciones por la naturaleza de componentes electrónicos. Finalmente, se tiene la inclusión de las cargas existentes, que demandarán su conexión a la red de puesta de tierra para hacer efectiva su protección ante perturbaciones en la red de distribución. Con la necesidad de conectar todos los equipos de generación y cargas a la red de puesta de tierra, surge la reflexión si disponer de un solo sistema al cual se conecten todas las cargas es el necesario y suficiente para proteger los equipos o, en otro escenario extremo, instalar sistemas de puesta a tierra dedicados individualmente. La propuesta identifica la necesidad de disponer de redes individuales interconectadas con el afán de mejorar el nivel de protección de equipos y personas ante la eventualidad de descargas eléctricas.

**Palabras Clave:** redes de tierra, interconexión, generadores, renovables.

## Abstract

Grounding systems represent an important component of the protections that electrical installations have. Different ways of generating electricity from renewable resources include the need for support structures placed in areas exposed to very different atmospheric conditions, such as lightning. Moreover, due to the nature of the electronic components, many of the monitoring and control equipment for generating green energy have a high degree of sensitivity to perturbations. Finally, the inclusion of existing loads will require connection network to effectively protect loads against disturbances in the distribution network. With the need

---

\* Director Académico del Laboratorio de Eléctrica, Universidad Don Bosco. federico.machado@udbt.edu.sv

Machado, Federico (2015) "Propuesta para redes de tierra interconectadas en sistemas eléctricos que incluyen generadores de energía mediante recursos renovables". *Científica*. Vol. 2, No 1. pp. 45-56

to connect all loads and generation equipment to the network of laying ground reflection, the question of whether having a single system to which to connect all loads is necessary and sufficient to protect the equipment or, in another scenario, installing grounding systems dedicated individually for every load arises. The proposal identifies the need to have individual networks interconnected with the purpose of improving the level of protection of equipment and personnel in the event of an electric shock.

**Keywords:** Ground networks, interconnection, generators, renewables.

## Introducción

Las perturbaciones existentes en la red de distribución eléctrica son ocasionadas especialmente por fenómenos atmosféricos de diversa índole. A medida que se han mejorado los sistemas electrónicos para realizar el control de equipos eléctricos y mecánicos, la vulnerabilidad de éstos ha aumentado, dando consecuentemente la necesidad de mejorar la calidad de la energía que suministra a las cargas críticas. Circunstancialmente, se ha promovido la utilización de generadores en energía renovables para efectos de obtener un ahorro en el valor de la factura eléctrica en el mediano y largo plazo.

Para cada uno de los sistemas o cargas descritos anteriormente, se han recomendado redes de puesta a tierra que permitan evacuar las cargas eléctricas que pueden dañar a la persona o equipos de la instalación eléctrica; sin embargo, la intensidad con que la corriente fluirá dependiendo de la falla, es notablemente distinta en cada uno de los casos anteriores y, dependiendo de la estructura de la red de puesta de tierra, algunos equipos se deteriorarán por las altas tensiones encontradas en puntos claves de dicha red.

En el caso particular de paneles fotovoltaicos y generadores eólicos, éstos se encuentran en alturas superiores a los techos de las edificaciones en diversos tipos, lo cual les hace vulnerables a descargas producidas por rayos.

## La normativa en El Salvador

La normativa de SIGET en relación a la red de puesta de tierra (SIGET 2000):

- En el acuerdo SIGET 29–E-2000, sobre “Normas Técnicas de diseño, seguridad y Operación de las instalaciones de Distribución eléctrica”, se establece que en función de la tensión eléctrica del sistema, debe utilizarse electrodos de diámetros específicos y conductores que le unan con la carga.
- Se adopta el NEC como marco de referencia para las instalaciones eléctricas en El Salvador. “Declaración de aplicación general, como estándar técnico para las instalaciones eléctricas de los usuarios finales, la regulación establecida en el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas y en el Código Eléctrico Nacional (NEC), edición de 1999” con fecha Viernes, 13 de Abril de 2012.

En función del sistema de generación, la red de puesta de tierra a construir, tiene recomendaciones particulares:

- El NEC describe la estructura y conexiones de la red de puesta a tierra para paneles fotovoltaicos en sus artículos 690.41, 690.42, 690.43, 690.45, 690.47.

Específicamente, haciendo la diferencia entre los electrodos de AC y DC, en 690.47 se tiene en la opción 2: "The dc grounding electrode conductor and ac grounding electrode conductor shall be connected to a single grounding electrode. The separate grounding electrode conductors shall be sized as required by 250.66 (ac) and 250.166 (dc)."

## I. Sistemas de puesta a tierra (Schneider Electric p. 25) Sistema TN

- El neutro del transformador está aterrizado.
- Las partes conductoras de las cargas eléctricas son conectadas al neutro.
- Una falla en el aislamiento de la carga es transformada en un corto circuito y la falla es desconectada por el dispositivo de protección contra corto circuitos.

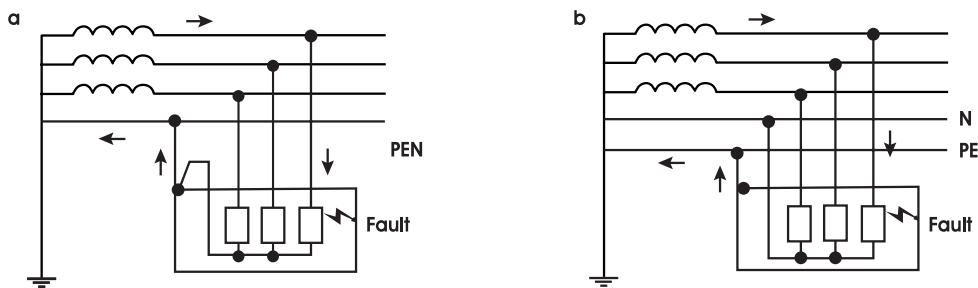


Figura 1. Sistema de puesta a tierra TN.

## II. Sistema TT

- El neutro del transformador está aterrizado.
- Las partes conductoras de las cargas eléctricas son conectadas a la puesta de tierra.
- La corriente de falla provocada por falta de aislamiento es limitada por la impedancia de la conexión a tierra.

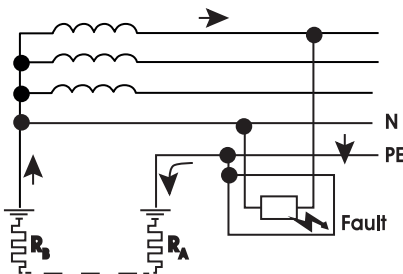


Figura 2. Sistema de puesta a tierra TT.

### III. Sistema IT

- a) El neutro del transformador no está conectado a tierra. En teoría está aislado.
- b) El tierra está conectado a capacitancias de la red y/o alta impedancia al neutro, alrededor de 1500 Ω.
- c) Las partes conductivas expuestas de las cargas están conectadas a tierra. Si ocurre una falla de falta de aislamiento, una corriente muy pequeña fluirá debido a pequeñas capacitancias de la red.

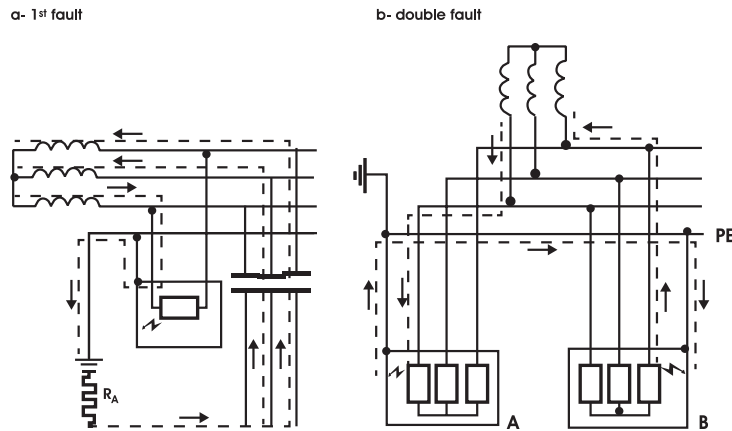


Figura 3. Sistema de puesta a tierra IT.

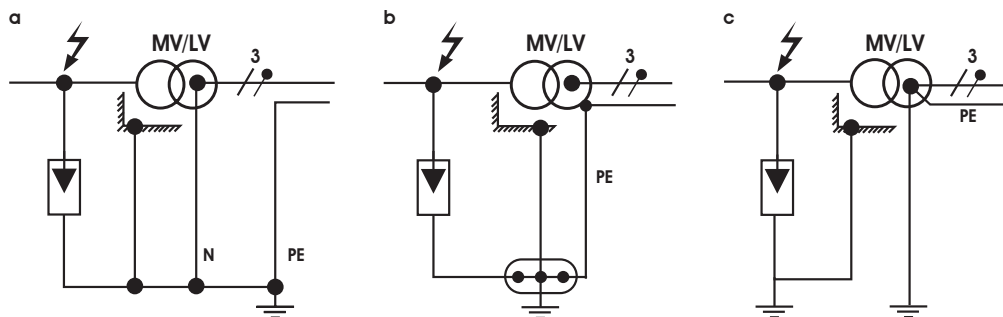
En todo caso, la red de puesta de tierra debe tener la siguiente resistencia (SIGET 2000:61).

Capacidad de la subestación [MVA]	Resistencia de la red de tierra [Ohms]
≤0.05	12
0.05 – 0.1	6
0.1 – 0.5	2
0.5 – 1	1.5
1-50	1
50-100	0.5
>100	0.2

Tabla 1. Valores admitidos para red de puesta a tierra según SIGET.

En algunos casos, para asegurar la superficie equipotencial sobre la cual se dispone la edificación, se establece una forma de conexión que vincula la red de tierra en alta y en baja tensión.

La siguiente figura muestra una recomendación de Schneider Electric para interconectar la puesta de tierra de MV versus LV, ofreciendo como ventaja principal que la tensión del lado de alta en la subestación no se elevará sensiblemente en el lado de baja (Schneider Electric pp. 14).

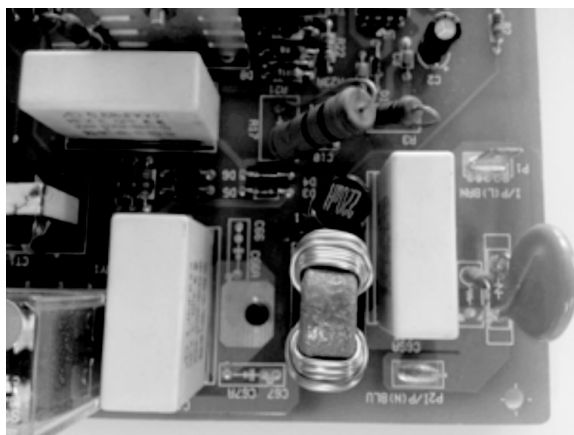


**Figura 4.** Relación entre la puesta de tierra HV y LV en una subestación.

En El Salvador, la primera es la alternativa más utilizada y se parte del supuesto que las descargas se derivan hacia el centro de la tierra y no en dirección a las cargas. Sin embargo, las conexiones en la red de puesta de tierra y los valores óhmicos de sus componentes podrán elevar la tensión en algunos puntos, ocasionando deterioro de componentes electrónicos.

### Los equipos electrónicos

Estos tienen componentes que evitan altas tensiones en diversas etapas del circuito ante las descargas que se presentan en la entrada. El varistor es un componente crucial para realizar esta función.



**Figura 5.** Sección de entrada VAC para UPS de 1 kW.<sup>1</sup>

Sin embargo, en algunos casos, no poseen las protecciones mínimas necesarias para drenar a tierra los swells observados en la red de distribución, tal como se puede ser en la fuente de computadora de la figura.

<sup>1</sup>. Universidad Don Bosco. Laboratorio de eléctrica.



**Figura 6.** PCB para fuente de computadora tipo clon.<sup>2</sup>

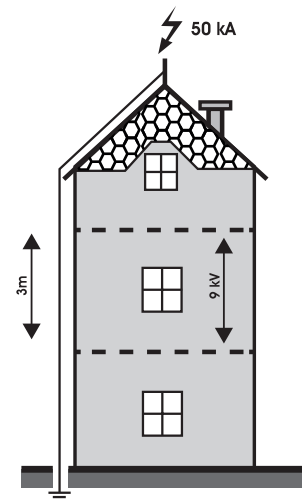
La superficie equipotencial es un mecanismo efecto de protección para la instalación eléctrica, evitando que existan corrientes altas a través de los componentes o equipos en la edificación; sin embargo, la presencia de las corrientes que drenan las cargas son considerables y debe evitarse que ocasionen elevados niveles de tensión que puedan poner en peligro personas o equipos.

### Consideraciones por altura

Diversas estructuras de sistemas de generación como paneles fotovoltaicos y hélices en generadores eólicos, se ubican en la parte superior de edificaciones, las cuales pueden ser viviendas u otro tipo donde se albergan muchas personas en la mayor parte del día. Por tanto, especial cuidado debe tenerse con la bajada a puesta de tierra, de manera que las personas no puedan acceder a diferentes puntos del cable.

En la figura siguiente muestra el caso de una descarga que impacta en el pararrayos de la casa. La diferencia de potencial producida por el paso de la corriente, genera una tensión mucho mayor de la que puede soportar una persona.

Además de evitar el libre acceso de personas, la bajada a la red de puesta a tierra se recomienda fuertemente que sea de sección rectangular y no redonda, tal como se muestra en la figura. Esta medida minimizará la generación de campos magnéticos que puedan perjudicar equipos electrónicos a la hora de la descarga.



**Figura 7.** Conductor de bajada a puesta de tierra (Schneider Electric, pp. 14)

2. Universidad Don Bosco. Laboratorio de eléctrica.

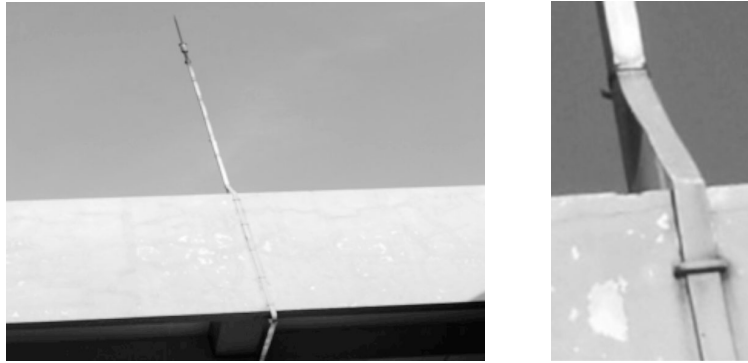


Figura 8a y 8b. Bajada de sección rectangular a puesta de tierra.<sup>3</sup>

Dado que los sistemas generadores de energía eléctrica mediante recursos renovables presentan las mismas consideraciones que otros generadores, se observa la forma de conectar sus redes equipotenciales de tierra.

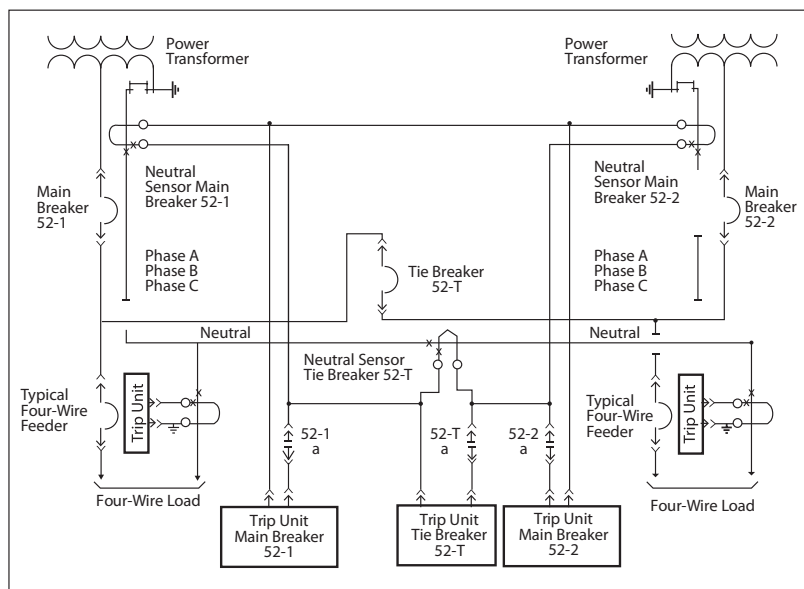


Figura 9. Puntos de aterrizamiento múltiple para un sistema de doble fuente de alimentación (Eaton 2013:69)

Como puede observarse, cada una de las subestaciones tiene su puesta de tierra ofreciendo una ruta para descargas de manera independiente. De igual forma, estas redes se interconectan con objeto de disponer de una red equipotencial para toda la instalación eléctrica.

Propuesta de redes de puesta a tierra interconectadas

Se propone identificar aquellas rutas donde:

- Sucederán altas descargas eléctricas productos de condiciones atmosféricas, para aquellos equipos ubicados a la intemperie. Tendido primario de distribución, paneles

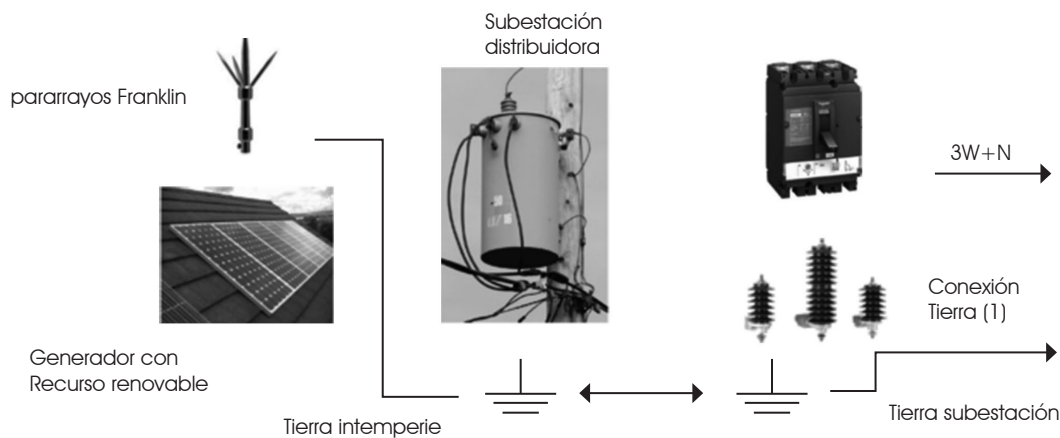
3. Edificio A5. Ministerio de Educación. El Salvador. 2014.

fotovoltaicos, turbinas eólicas.

- Se tendrán descargas en equipos y habrán corrientes producidas por fuentes AC. Salidas de inversores o transformadores en baja tensión.
- Se tendrán descargas en equipos y habrán corrientes producidas por fuentes DC. Salidas de paneles fotovoltaicos que alimentan gran cantidad de cargas DC.

Una vez se tengan identificadas las rutas, se diseña la red de puesta a tierra de forma independiente a ellas. Finalmente se interconectan de forma que se asegura que las corrientes de descarga “prefieran” circular hacia el suelo en lugar de viajar por el cable de interconexión a las redes de puesta de tierra contiguas.

De esta forma, la subestación que suministra energía proveniente de La Distribuidora y, que podría estar cerca de un generador con recursos renovables, puede tener las siguientes conexiones.



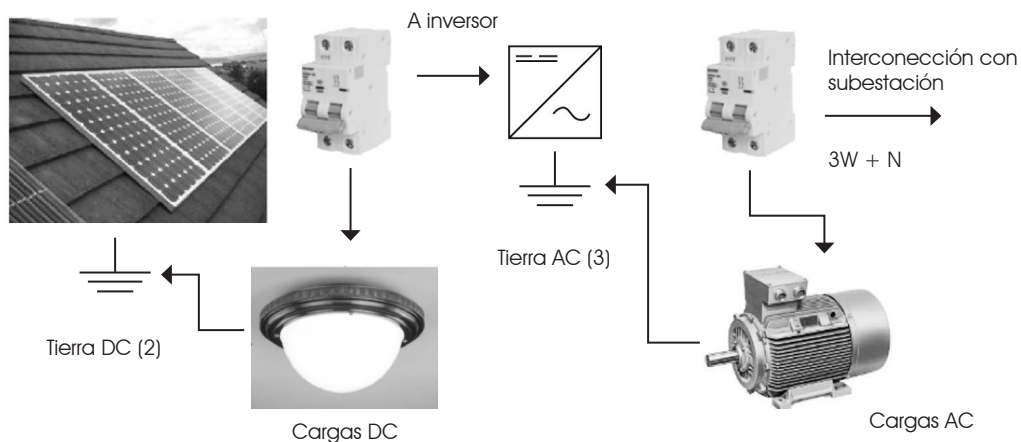
**Figura 10.** Interconexión propuesta para redes de tierra en pararrayos Franklin y subestación.

La red de tierra para intemperie podría ser la misma de la subestación en un caso particular que la distancia entre ellas sea muy corta; por ejemplo, unos 10 metros. La descarga producida por un rayo elevará el potencial de la red de puesta a tierra en su trayectoria, que se espera tenga una intensidad bastante mayor en el pararrayos Franklin que en las líneas de distribución y, por ende, el pararrayos de la subestación.

Si la distancia fuese considerable, cada generador por energía renovable deberá tener su propia red de puesta a tierra.

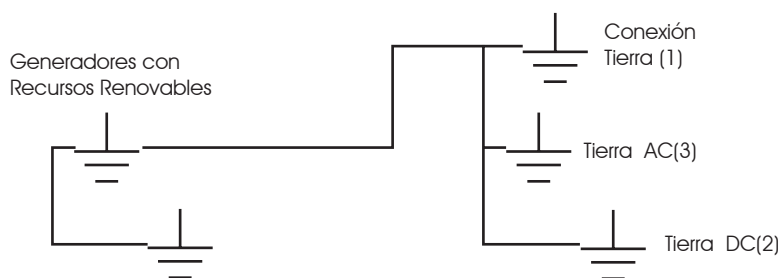
En el caso de los paneles fotovoltaicos y sus cargas DC, las cuales pueden tener una potencia considerable, se tiene una red de puesta a tierra independiente que soporte altas corrientes de falla y, finalmente, después del inversor, una red de tierra adicional, como se muestra en la figura siguiente.





**Figura 11.** Interconexión propuesta para buses AC y DC provenientes de generadores que utilizan recursos renovables.

Los diversos puntos de aterrizamiento aseguran un recorrido corto de la falla, la cual se deriva de manera local y muy cercana a las cargas. El costo asociado a redes individuales que luego se unen para formar una red equipotencial, se verá recompensado con un alto nivel de seguridad en los equipos y personas. La interconexión de las puestas a tierra individuales se propone así:



**Figura 12.** Interconexión propuesta a partir de redes de puesta a tierra individuales.

Mientras que los diversos generadores con recursos renovables tienen pararrayos tipo Franklin y pueden conectar sus redes de puesta a tierra en diversas formas, se recomienda que las redes (1), (2) y (3) conserven una topología de bus con objeto de garantizar la descarga local de las fallas y evitando que altas corrientes circulen en otras redes.

## Conclusiones

- Las redes de puesta a tierra son parte fundamental de toda instalación eléctrica para canalizar descargas eléctricas, productos de condiciones atmosféricas o fallas en diversos puntos del circuito, garantizando la seguridad de personas y equipos.
- La bajada a puesta de tierra para descarga de rayos se recomienda mediante un conductor de sección rectangular, lo más plano posible, para que el campo magnético generado en el

momento de la descarga no tenga incidencia significativa en equipos electrónicos.

- La normativa describe la existencia de redes de puesta para circuitos AC y DC independientes en principio, que luego se unen para formar una red equipotencial. Esta forma de conexión permite canalizar altas corrientes para circuitos DC en líneas distintas a las menores de AC, promoviendo una descarga local más efectiva.
- Al incorporar generadores de energía eléctrica mediante el uso de recursos renovables, debe modificarse la red de puesta a tierra de toda la instalación con objeto de continuar garantizando la seguridad de equipos y personas.

## Referencias

Eaton (2013) Power Distribution System – System Application Considerations: Grounding/Ground Fault Protection. Sheet 01 069 CA08104001E.

Schneider Electric (sin fecha). Disturbances in electronic systems and earthing systems. Revista de la serie *Cahier Technique*. No. 177.

SIGET (2000) Acuerdo No. 29–e-2000: *Normas técnicas de diseño, seguridad y operación de las instalaciones de distribución eléctrica*. El Salvador.