

7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE UN SCT PARA EQUIPOS SENSIBLES

Los Sistemas de Conexión a Tierra(SCT) en cualquier tipo de instalación con equipos eléctricos y/o electrónicos tienen como prioridad número uno la seguridad de las personas[1,2], por encima de la operación de los equipos. En segundo lugar un SCT puede servir para controlar situaciones que afecten el normal funcionamiento de los equipos y protegerlos contra posibles daños generados por diferentes contingencias que se pueden presentar dentro de la instalación tales como: descarga de rayos, fallas de aislamiento. Estos eventos pueden provocar elevadas corrientes de falla y/o sobrevoltajes transitorios sobre los equipos, o diferencias de potencial no deseables entre equipos interconectados que están ubicados en diferentes sitios de la instalación..

Seguridad de Personas y Daños a Equipos

El principal objetivo de un Sistema de Conexión a Tierra en un ambiente con equipos electrónicos sensibles es la seguridad de las personas y proteger los equipos instalados contra daños. Dos fenómenos importantes que causan daños son los rayos que descargan a tierra y las fallas en el sistema de potencia. Las fallas en la red de potencia de baja frecuencia pueden generar perturbaciones precisamente a través del SCT, si éste último no está diseñado adecuadamente.

El SCT de la instalación desde el punto de vista de la seguridad de las personas debe servir de un camino de baja impedancia para la descarga de rayos y un medio de retorno de las corrientes de falla de baja frecuencia(60 Hz). Un diseño adecuado para la seguridad de las personas debe garantizar que bajo ninguna circunstancia se presenten diferencias de potencial de riesgo para las personas en el ambiente de la instalación, cuando éste ejerce sus funciones de descarga de rayos o retorno de las corriente de falla. Para este fin existen diversas normas y recomendaciones a nivel internacional, en América es muy extendido el uso de la norma IEEE-80-1986.

Las corrientes de falla que retornan por el SCT pueden perturbar el funcionamiento de equipos sensibles por diferentes razones. Si el cableado de los equipos sensibles y los conductores de potencia comparten la misma vía, las corrientes de falla pueden acoplarse inductivamente con el cableado de los circuitos sensibles induciendo voltajes y corrientes en ellos que los pueden interferir en su operación normal y/o producir daños en sus componentes. Si existen caminos alternos de retorno de la corriente de falla, o fracción de ésta, que de manera no intencional fueron creados en la red de conexión a tierra del equipo sensible; entonces se pueden producir daños sobre componentes que no están diseñados para soportar las elevadas corrientes de falla de un circuito de potencia. Otro aspecto importante es que una corriente de falla que retorne por el terreno provoca diferencias de potencial entre diferentes puntos del terreno, lo cual puede provocar circulación de corrientes no deseadas entre equipos ubicados a diferentes potencial y que operan interconectados mediante un cable coaxial o un cable multipar.

Los rayos pueden causar daños a los equipos bien sea directamente si descargan sobre la instalación, una antena por ejemplo. O indirectamente por dos vías: el rayo descarga en la cercanías de la instalación y genera un campo magnético intenso que varía rápidamente con el tiempo induciendo sobrevoltajes y sobrecorrientes tipo impulso en los circuitos de los equipos; el rayo provoca una falla del aislamiento en algún equipo del sistema de potencia generando una falla a tierra. La corriente de falla a tierra se convierte en una perturbación que puede interactuar a través del Sistema de Conexión a Tierra con los equipos sensibles.

Equipotencialidad

El segundo objetivo en jerarquía de un SCT es servir como un punto de referencia común de voltaje, y contribuir a la reducción de perturbaciones que podrían alterar el funcionamiento en ambientes con equipos sensibles y sistemas eléctricos de potencia. Es decir la idea fundamental es tener un SCT que de alguna forma garantice la equipotencialidad de todos los equipos interconectados bajo condiciones de operación normal, y cuando existe un evento perturbador fuera de la operación normal de los equipos. Aún cuando la equipotencialidad solo existe rigurosamente para campos estáticos o los asociados a la corriente continua, cuando se habla de equipotencialidad en campo variables en el tiempo se puede entender que la diferencia de potencial se mantiene por debajo de un límite soportable para la operación normal de los equipos, y sin daños

a sus componentes. Es decir sean *Electromagnéticamente Compatibles* con el ambiente. Es importante destacar que los niveles de voltaje para que los equipos sean Electromagnéticamente Compatibles con el ambiente son inferiores a aquellos que se permiten como criterio de seguridad para las personas.

Características de Funcionamiento Deseables de un SCT en Ambientes con Equipo Sensible

Un buen diseño de un Sistema de Conexión a Tierra en ambientes donde operan equipos sensibles entonces debe garantizar los siguientes aspectos:

- En primera instancia la seguridad de las personas controlando las diferencias de potencial bajo la contingencia de una falla a tierra, o de una descarga de un rayo a tierra.
- El retorno de las corrientes de falla por los caminos establecidos para ello sin que existan caminos alternos no previstos para manejar este nivel de corriente.
- Debe servir como nivel de referencia para el apantallamiento de los equipos, los dispositivos de protección contra sobrevoltajes, filtros etc.
- Debe proveer una *“equipotencialidad”* entre los diferentes equipos que operan interconectados bajo condiciones normales de operación y bajo la contingencia de fallas a tierra o descarga de rayos.

Cada una de las características de funcionamiento mencionadas está asociada con diferentes aspectos involucrados en el diseño de un SCT:

- ❑ La descarga de rayos y la seguridad de personas determina la geometría del Sistema de Electrodo de Conexión a Tierra (SECT): voltajes de contacto, voltajes de paso, voltajes transferidos.
- ❑ La seguridad de personas y la protección de equipos determina el tamaño de los conductores y conexiones para conectar a tierra de los equipos.
- ❑ La equipotencialidad o Compatibilidad Electromagnética con el ambiente determina la disposición de los puntos de conexión a tierra de los equipos, es decir la Red de Conexión a Tierra. Donde y como se van a conectar los equipos al Sistema de Electrodo de Conexión a Tierra.

Ingeniería Conceptual en SCT en Instalaciones con Equipo Sensible

Sistema de Electrodo de conexión a Tierra

Las últimas recomendaciones sobre SCT en instalaciones con equipos sensibles conducen a la utilización de un único Sistema de Electrodo de Conexión a Tierra (SECT), o Malla de Tierra como generalmente se le conoce, para toda la instalación[1,2]. El concepto de conexiones al terreno mediante arreglos de electrodos separados es una práctica negada por los problemas de diferencia de potencial que acarrea bajo la contingencia de inyección de corriente a uno de ellos. Esto puede provocar situaciones de riesgo para las personas, razón por la cual puede ser una práctica prohibida en algunos países[1]. Una forma alterna para evitar estas situaciones de riesgo ha sido utilizar un punto único de conexión al terreno mediante e respectivo arreglo de electrodos. Este concepto de punto único funciona como punto de referencia equipotencial a bajas frecuencias, no es recomendado para Compatibilidad Electromagnética.

El concepto de conexión a tierra recomendado para seguridad y Compatibilidad Electromagnética es la configuración de un solo sistema de electrodos de conexión a tierra, con conexiones múltiples en diferentes puntos de este arreglo de electrodos en la medida que se requiera para conectar los equipos de potencia o comunicaciones. A su vez se recomienda que todas las conexiones hechas al sistema de electrodos están interconectadas en la superficie, al menos entre los chasis metálicos de los equipos sensibles para evitar lazos no deseados entre equipos interconectados por coaxiales o conductores con pantallas conectadas a tierra en ambos extremos. En la figura 7.1 se ilustran los tres conceptos expuestos sobre la conexión al terreno.

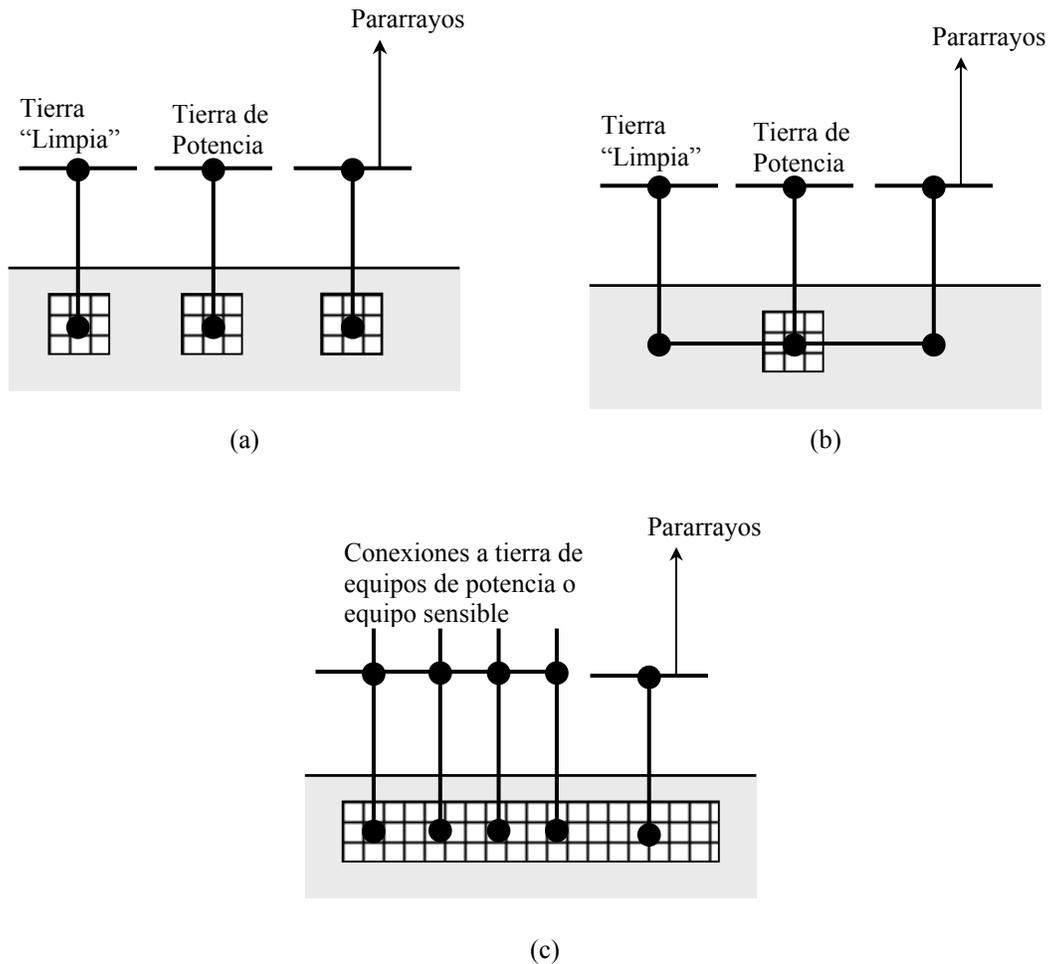


Fig. 7.1 Diferentes conceptos para la Conexión al Terreno

- (a) Conexiones aisladas **no recomendadas**
- (b) Conexión en un solo punto para bajas frecuencias
- (c) Conexión a un solo sistema distribuido de conexión al terreno.
Recomendado para Compatibilidad Electromagnética

La Red de Conexión a Tierra

La Red de Conexión a Tierra (RCT) es la parte de un SCT que requiere una elaboración minuciosa para garantizar la seguridad de las personas, que las corrientes de falla retornen por los caminos previstos para ello, que se cumplan las condiciones de equipotencialidad requeridas para Compatibilidad Electromagnética, y que las conexiones al Sistema de Electrodo de Conexión a Tierra cumplan con los requerimientos indicados para que los dispositivos de protección operen adecuadamente.

El aspecto de seguridad que es obvio en equipo de potencia de alto voltaje, puede parecer menos evidente en ambientes con equipos sensible como por ejemplo una sala de telecomunicaciones. En la figura 7.2 se ilustra un ejemplo sencillo con un equipo conectado a una red de 60 Hz. Si ocurre una falla de aislamiento del conductor activo y no existe el conductor de tierra, entonces no hay forma que circule una corriente de falla por un camino de baja impedancia para hacer operar al dispositivo de protección correspondiente, y el chasis

metálico queda energizado al potencial del conductor activo. Convirtiéndose en un riesgo potencial de choque eléctrico para una persona que toque el chasis metálico.

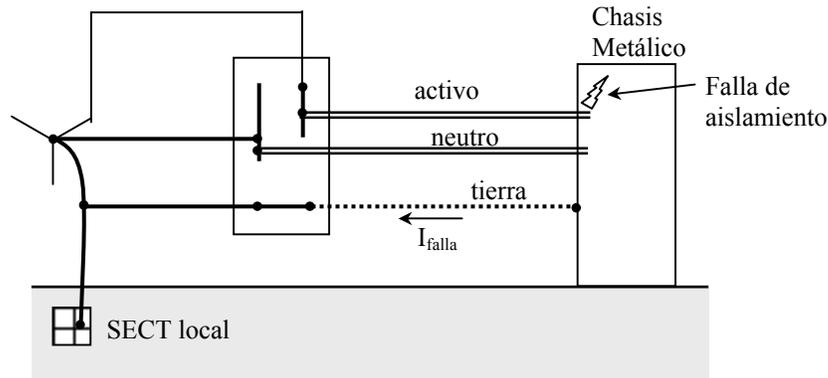


Fig. 7.2 Falla del aislamiento en la alimentación de un equipo

Si existe el conductor de tierra entonces se garantiza que existe un camino de baja impedancia para la corriente de falla con lo cual debe operar el dispositivo de protección indicado. En este ejemplo sencillo se pone en evidencia la necesidad de conectar a tierra el chasis metálico del equipo. Pero esto no es suficiente para garantizar la seguridad de una persona, ya que el chasis ahora está conectado al SECT local. Si ocurre una falla que eleva el potencial EPT de éste SECT local respecto a una referencia muy lejana, entonces también el chasis elevará su potencial al mismo nivel EPT, convirtiéndose en una situación de riesgo para una persona que toque el chasis metálico. El diseño del SECT tanto de la fuente de potencia como del ambiente donde está ubicado el equipo, debe contemplar esta contingencia para garantizar la seguridad de las personas en este ambiente del equipo. Esto se logra diseñando un SECT general para que el perfil de potenciales en la superficie del terreno sea de tal forma, que la diferencia de potencial posible a que esté sometida una persona no sea la causa de su muerte o daño orgánicos irreversibles. Una alternativa posible es colocar un SECT2 adicional al SECT1 de la fuente, ver figura 7.3. Para poder garantizar la seguridad de las personas bien sea en las inmediaciones del SECT1 o del SECT2 ambos sistemas de conexión a tierra deben estar interconectados, preferiblemente con más de un conductor para tener redundancia en la conexión.

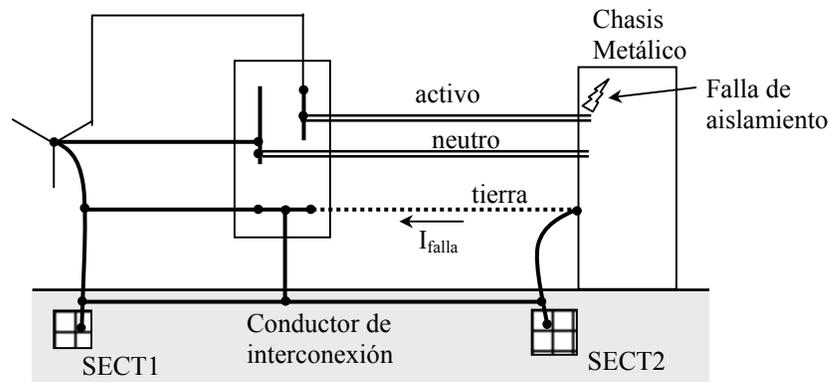


Fig. 7.3 Sistemas de conexión a tierra locales interconectados

En la figura 7.3 existe la interconexión prevista mediante un conductor expresamente colocado para ello y la conexión redundante mediante el conductor de tierra. Si el circuito formado por los conductores activo, neutro y tierra están ubicados en el mismo ducto; la corriente de falla originada por una pérdida de aislamiento dentro del equipo retorna en su mayor parte por el conductor de tierra. Solo una fracción de corriente de falla retorna por el conductor de interconexión de SECT1 y SECT2.

Cuando existen ambientes con varios equipos sensibles, por ejemplo una sala de telecomunicaciones, se debe tener especial cuidado en la RCT que va a interconectar a tierra a cada equipo. Para ello se tienen algunas recomendaciones generales:

- Los conductores de la RCT deben ser lo más corto posible. Una longitud de conductor en corriente continua es una resistencia. A bajas frecuencias se transforma en un circuito resistivo – inductivo con predominio del valor resistivo. A frecuencias intermedias en el circuito resistivo – inductivo predomina el valor inductivo. A frecuencias elevadas, sin llegar al fenómeno de radiación, el conductor responde con una función de transferencia que se puede representar como un circuito RLC paralelo. Para evaluar si un conductor opera a baja, media o alta frecuencia se toma como referencia la longitud de onda de la señal armónica o de la componente de Fourier que sea de interés. Si la longitud de onda es mayor que la longitud de la sección de conductor, el modelo a tomar es el resistivo – inductivo. Si la longitud de onda es mucho menor que la longitud del conductor el modelo el modelo RLC pasa a ser más apropiado. En la figura 7.4 se muestran los diferentes modelos de una sección de conductor dada.

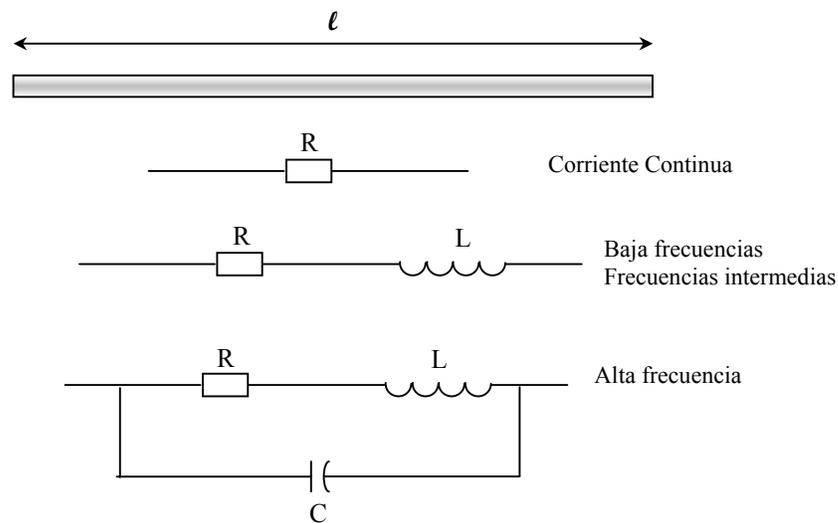


Fig. 7.4 Modelo circuital de una sección de conductor para diferentes rangos de frecuencias

- La conexión de cada equipo sensible al Sistema de Electrodo de Conexión a Tierra (SECT) debe hacerse en forma individual para cada equipo en particular con un conductor aislado eléctricamente. No se debe permitir que un solo conductor interconecte al SECT diferentes equipos. Se debe evitar formar lazos redundantes que interconecten un mismo equipo al SECT a dos puntos diferentes del SECT. Para simplificar la ejecución de la conexión al SECT individual de cada equipo en la práctica se ha hecho costumbre colocar una barra en un punto estratégico para facilitar el acceso a la conexión de tierra de cada equipo. Esta barra se le conoce como **Barra Principal de Tierra (BPT)** o **MGB** por sus siglas en el idioma Inglés (**Main Ground Bus**). Con la finalidad de evitar la formación de lazos que accidentalmente conecten un equipo en dos puntos diferentes del SECT esta barra se aísla eléctricamente de la pared o soporte físico donde se coloque. A esta barra de conexión al SECT se le conoce con el nombre de **tierra lógica**. Es oportuno señalar que el aislamiento de la Barra Principal de Tierra es efectivo para corriente continua y bajas frecuencias. El aislamiento se puede representar como un circuito RC paralelo que tiene una impedancia elevada siempre y cuando no se supere el valor de voltaje de ruptura. Para frecuencias elevadas la impedancia del aislamiento decrece como consecuencia de la reducción de la impedancia capacitiva asociada, lo que quiere decir que el aislamiento de la barra principal de tierra puede dejar circular corrientes de armónicos de alta frecuencia hacia los equipos que potencialmente pueden perturbar el funcionamiento de algunos equipos. En la figura 7.5 se muestra un esquema típico de alimentación de un equipo y su conexión a la Barra Principal de Tierra (BPT).

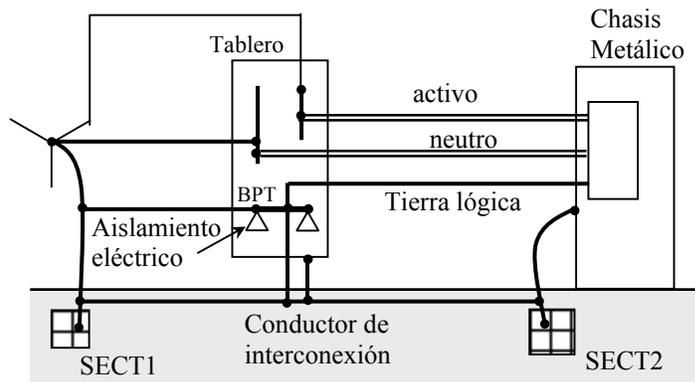


Fig. 7.5 Equipo alimentado en corriente alterna y su conexión a tierra

- Para la conexión a la Barra Principal de Tierra, o en general al SECT, de los equipos se recomienda utilizar conductores aislados eléctricamente con la finalidad de evitar conexiones accidentales entre diferentes puntos del SCT que bajo alguna condición se encuentren a diferente potencial. Y evitar lazos accidentales que permitan el retorno de corrientes de falla, o fracción de éstas, por caminos conductivos que no tienen la capacidad térmica para manejar estos valores de corriente.
- El problema de lazos que se forman cuando se conectan elementos a diferentes puntos de un SECT se puede entender fácilmente con la situación que se ilustra en la figura 7.6. En ella un cable coaxial que interconecta dos equipos tiene su pantalla conectada a tierra en ambos extremos, y en diferentes puntos del SECT o en diferentes SECT.

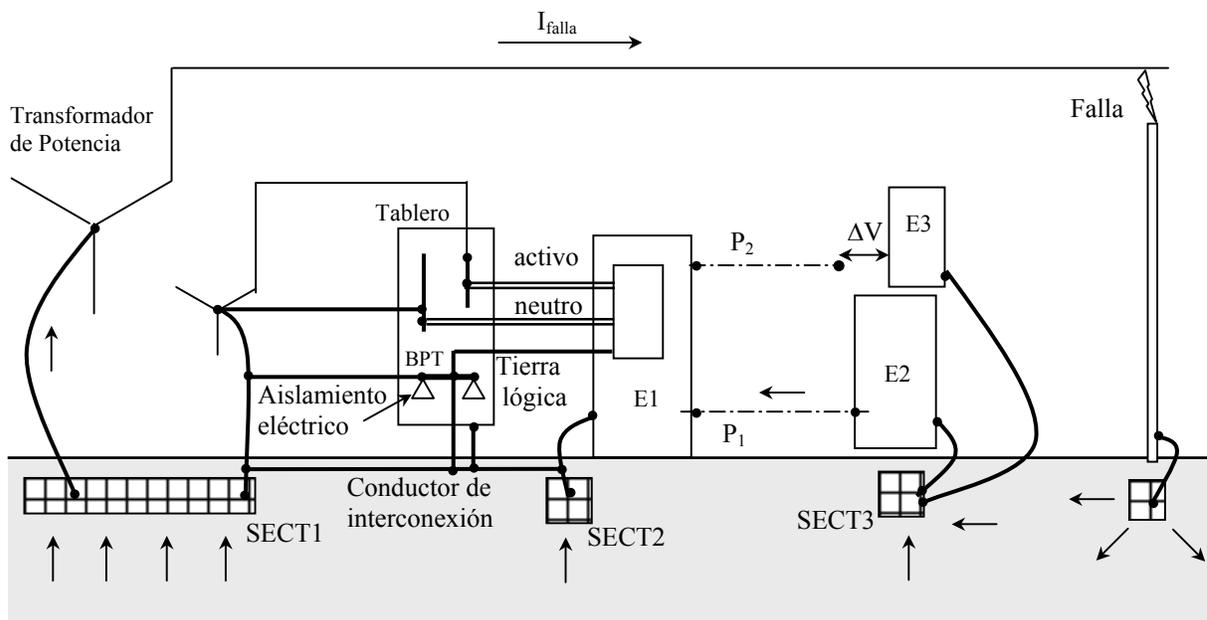


Fig. 7.6 Retorno de la corriente de falla en el lado de potencia

- En la figura 7.6 el SECT3 no está conectado intencionalmente con el SECT2, sino por medio de la pantalla P_1 del conductor coaxial que interconecta el equipo E1 con el equipo E2. Si ocurre una falla en el lado de potencia que involucra por ejemplo un circuito de distribución, la corriente de falla

retorna a través del terreno hacia la fuente, el transformador de potencia. Una parte de la corriente retorna al neutro del transformador de potencia por el terreno y el SECT1 que es lo esperado, pero de igual forma los SECT2 y SECT3 son caminos alternos de retorno de fracciones de la corriente de falla. Así la pantalla P_1 puede transportar una fracción de la corriente de falla que se genera en el lado de potencia. Para evitar que una pantalla se transforme en un camino alterno de una corriente de falla se puede desconectar en un extremo. Sea este el caso del equipo E3 cuyo chasis metálico está conectado al SECT3. Entre SECT1 y SECT3 existirá bajo la condición de falla a tierra una diferencia de potencial ΔV que se refleja entre la pantalla P_2 y el chasis metálico del equipo E3. Si ésta diferencia de potencial es suficiente puede aparecer un arco entre la pantalla P_2 y el chasis metálico de E3 con lo cual se está en el mismo caso que P_1 .

- En donde sea posible, todas las conexiones de equipos al SECT deben hacerse por intermedio de conexiones exotérmicas. La conexión exotérmica entre conductores garantiza la continuidad del camino conductivo sin la impedancia por contacto que se asocia a conexiones mediante pernos o conectores ajustados mecánicamente.
- Se recomienda que todos los conductores (alimentación, conexiones a tierra, coaxiales, pares etc.) que entran o salen de un ambiente con equipo sensible se ubiquen en caminos apantallados alejados de los conductores de potencia de alta tensión, y lejos de los conductores que bajan de los pararrayos o puntas Franklin. Esto con la finalidad de reducir el efecto de voltajes y corrientes inducidos por el acoplamiento magnético entre los conductores. En lo posible se debe evitar el paralelismo con conductores de otras aplicaciones dentro de la instalación en cuestión. En general el apantallamiento contra campos magnéticos es difícil de ejecutar pero el uso de tubería metálica conectada a tierra puede reducir significativamente este efecto.
- Para el piso del ambiente donde se ubique equipo sensible se recomienda la instalación de una malla con cuadrícula lo mas pequeña posible, dentro de los términos económicamente factibles. En general lo ideal es tener una placa conductora sobre la cual se ubiquen los equipos con los conductores de alimentación, interconexión y conexión a tierra lo mas pegados posibles a esta placa. Esto sería lo ideal desde el punto de vista de Compatibilidad Electromagnética. Sin embargo es una alternativa muy costosa, en la práctica se puede alcanzar un buen nivel de equipotencialidad con una malla embutida en el piso del ambiente con equipo sensible.

Referencias

- [1] IEC - SC:77B: “Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 5: Mitigation methods and installations guidelines. Section 1: Earthing and cabling”, Committee Draft, July 1993
- [2] IEEE Std 1100 – 1999 IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment
- [3] Nota Técnica No. E – 01: Puesta a Tierra: Sistemas de Puesta a Tierra en Plantas de Procesos, Rev. 01, p.2/2, PDVSA, julio 1992