

Aspectos básicos en las instalaciones eléctricas de edificaciones que alojan equipamiento electrónico digital.

Autor: José Felipe Pomares Orbea

Resumen- El presente trabajo esta relacionado con los requisitos que deben cumplir las instalaciones eléctricas en las edificaciones que alojan equipamiento electrónico de alta tecnología para que funcione correctamente en su entorno electromagnético.

Palabras Claves- EMC, tierra, protección, electrónica.

I. Introducción.

Después de definir una serie de términos claves en estos temas describiremos un grupo de importantes aspectos que no deben ser ignorados a la hora de diseñar una edificación para estos fines. Teniendo en cuenta que la compatibilidad electromagnética de un entorno se alcanza cuando se satisface un sistema armónico de requisitos que de faltar uno de ellos puede anular todos los esfuerzos en las restantes vertientes

Términos y sus definiciones: Sistema de puesta a tierra.- Conjunto de todos los conductores usados para proveer un punto de referencia a tierra común.

Puesta a tierra.- Proceso de establecer un camino a la corriente eléctrica de una resistencia de $0,1 \Omega$ o inferior entre un equipo y una toma de tierra local.

Compatibilidad Electromagnética (EMC).- Condición que prevalece cuando todos los equipos eléctricos y electrónicos están desempeñando colectivamente sus funciones en un ambiente electromagnético común sin causar ni sufrir una degradación inaceptable debido a interferencias electromagnéticas a o desde otro equipo o sistema del mismo entorno.

Interferencia Electromagnética (EMI).- Cualquier fenómeno electromagnético radiado o conducido que provoca una respuesta no intencionada e indeseable, una degradación o un mal funcionamiento de un equipo electrónico.

Malla de tierra (Grid).- Sistema de electrodos horizontales de tierra

interconectados, ordenados longitudinal y transversalmente enterrados en el suelo para proporcionar una tierra electrotécnica común para los dispositivos eléctricos o las estructuras metálicas. Son muy efectivas para controlar los gradientes de potencial superficiales. Está, por lo general, suplementada con un número de electrodos verticales en su borde exterior.

Esteras de tierra (Mat).- Plancha metálica sólida o rejilla metálica ubicadas debajo y alrededor de la apartamenta eléctrica de la subestación. La rejilla es un sistema de conductores desnudos longitudinales y transversales, interconectados y espaciados a no más de 30 cm, colocados bajo la losa de piso (o material de superficie), como medida de protección adicional, que minimiza el peligro de exposición a altas tensiones de contacto o paso en la subestación, en caso de falla de media tensión a tierra.

Retícula de tierra (Mesh).- Malla de tierra localmente interior a las edificaciones con gran densidad de conductores desnudos tanto longitudinal como transversalmente colocada bajo losa o falso piso. El lado de cada cuadrícula de la retícula se calcula en función de la frecuencia de la señal para la que se quiere lograr la equipotencialización.

II. Métodos y Materiales. Generalidades

El sistema de puesta a tierra crea un camino de impedancia conocida entre la tierra y los diferentes equipos de los sistemas de potencia y comunicaciones, extendiendo de manera efectiva el potencial de referencia a tierra a través de la edificación.

El sistema de puesta a tierra está compuesto de cuatro subsistemas

1. Subsistema de electrodos de tierra.
2. Subsistema de protección contra el rayo.
3. Subsistema de protección contra fallas.

4. Subsistema de tierra de referencia.
La fig. 1 muestra un sistema de puesta a tierra integral

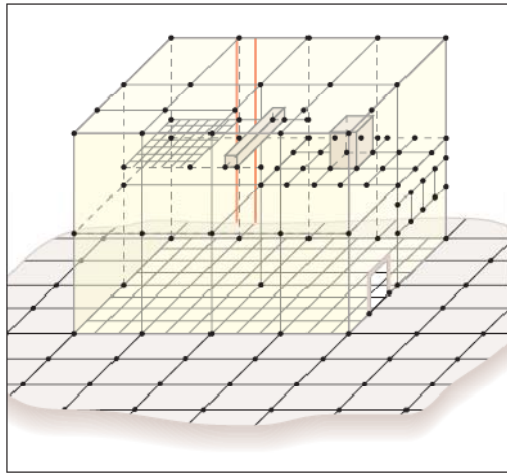


Fig. 1

III. Subsistemas que componen la protección del equipamiento electrónico

1. Subsistema de electrodos de tierra.- Es una red interconectada de electrodos verticales (jabalinas), electrodos horizontales (cables desnudos o cintas metálicas), tuberías y estructuras metálicas, formando una estructura mallada, que establece contacto eléctrico entre los elementos de la edificación y la tierra.

Este subsistema:

- Provee de un camino de baja resistencia a tierra.
- Reduce los gradientes de potencial de contacto y de paso durante las descargas de rayos y las fallas en el sistema eléctrico.
- Reduce los ruidos eléctricos en los circuitos de señal y control.

Los pozos de tierra profunda aportan bajas resistencias a tierra en corriente directa pero no sirven para los sistemas de corriente alterna, los tres sistemas de electrodos de tierra recomendados son:

Las mallas con electrodos verticales en la periferia, los electrodos de puesta a tierra en cimientos y los electrodos horizontales en anillo. (Ver NC IEC 62305, e IEEE Std 80)

2. Subsistema de protección aérea contra el rayo.- Provee un camino a tierra, no destructivo, para disipar la energía del rayo. Este subsistema está provisto de un terminal aéreo con fortaleza para soportar el impacto del rayo y dos o más bajantes conductores para proveer de múltiples conexiones al subsistema de electrodos de tierra y reducir la densidad de corriente por cada bajante. Al aumentar el número de bajantes se disminuye la impedancia al

impulso del subsistema reduciendo entonces la magnitud de los potenciales transitorios.

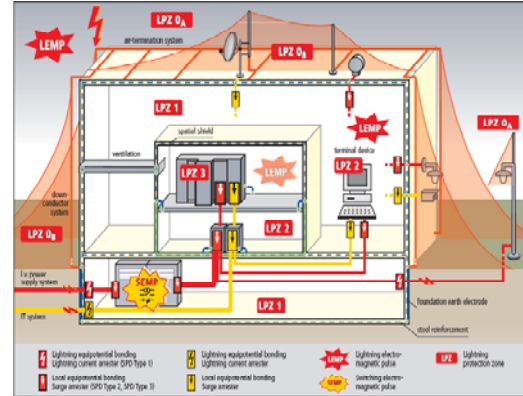


Fig. 2

Este terminal aéreo es usado para proteger efectivamente la estructura de la edificación, mástiles, antenas y otros objetos sobre la cubierta. En la Fig. 2 se muestra la terminación aérea del subsistema de protección contra el rayo y los conductores bajantes que unen la misma con los conductores de tierra en el cimiento. (Ver NC IEC 62305).

Con mallas de 2 a 5 m de lado en las cubiertas, mástiles y cables aéreos suspendidos de mástiles se puede proteger cualquier volumen en edificaciones que alojen equipos electrónicos. Los bajantes que se unen al subsistema de puesta a tierra deben colocarse cada 10 m para lograr un alto nivel de protección.

Todas las partes probablemente desprotegidas pueden determinarse a partir del método de la esfera rodante.

3. Subsistema de protección contra fallas.- Este garantiza que el personal este protegido contra el peligro del choque eléctrico y los equipos queden protegidos de daño o destrucción en condiciones de falla. Los conductores verde-amarillo (PE) de puesta a tierra tendrán la capacidad suficiente para conducir las corrientes de falla hasta que las protecciones desconecten el circuito fallado. De modo que en un sistema TN la impedancia de un lazo de falla a tierra, protegido por un interruptor automático tiene que satisfacer la siguiente expresión:

$$Z_S \leq \frac{U_0}{1,2 \times I_{mag.m\acute{a}x}}$$

Donde:

Z_S - Impedancia total del lazo de falla.

U_0 - Tensión de fase

$I_{mag. máx.}$ - Máximo valor de la corriente de operación instantánea del interruptor automático

3.1. Red de equipotencialización

Los conductores de puesta a tierra radial se complementan con uniones equipotenciales (S_{LS} en fig.3) entre los equipos adyacentes y simultáneamente accesibles, y entre los equipos y las partes conductoras extrañas simultáneamente accesibles

La sección mínima del conductor de equipotencialización será igual a la del menor conductor de protección que equipotencializa.

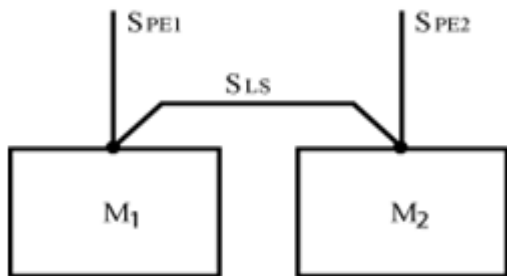


Fig. 3

Dada la práctica en nuestro país de que al sistema de tierra de la subestación se conecte el tanque del transformador las cubiertas metálicas de los cables de media tensión, el conductor de protección de las líneas aéreas, las partes conductoras externas de la apartamta de media y baja tensión, así como las partes conductoras extrañas de la edificación es mandatorio que debajo y alrededor de toda la apartamta de la subestación se empotren esteras metálicas como la de la fig. 4, de modo que se elimine el peligro de choque eléctrico por los potenciales transferidos ante una falla del primario de la subestación a tierra.



Fig. 4

Diferentes textos especializados en estos temas resaltan que una buena equipotencialización es más importante que el propio valor de la resistencia a tierra de la edificación. No obstante se establece que el valor de la resistencia a tierra no

debe ser superior a 5Ω y preferiblemente inferior a 2Ω .

En locales médicos destinados a procedimientos invasivos, la resistencia medida por un óhmetro entre dos puntos metálicos cualesquiera, ya sean terminales, carcasas, partes conductoras extrañas o barras de enlace equipotencial, será inferior a $0,1\Omega$.

La resistencia desde cualquier masa puesta a tierra y la barra principal de puesta a tierra de la edificación no será superior a 1Ω .

4. Subsistema de tierra de referencia.- La tierra de referencia, conocida también como tierra de bajo ruido se implementa con retículas que establecen una referencia común a tierra disminuyendo las diferencias de potencial entre equipos y las corrientes por los lazos de tierra. También sirve como sumidero para las cargas estáticas.

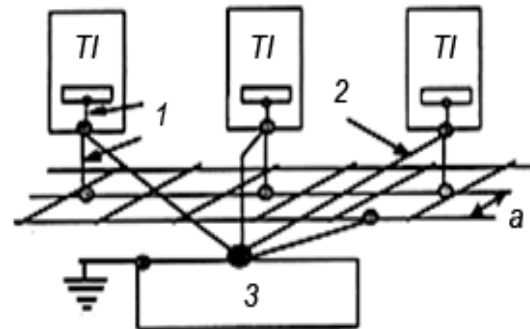


Fig. 5

Explicación de los números en la Fig 5.

- 1.- Uniones cortas de baja impedancia a altas frecuencias entre el equipo y la retícula.
- 2.- Conductor de puesta a tierra radial (tierra de seguridad a baja frecuencia).
- 3.- Barra de tierra del Panel de Fuerza local.
- a.- Dimensión del lado de la cuadrícula de la retícula.
- TI.- Equipo de tecnología de la información.

En la fig 5 se observa que además de los conductores de protección radiales (2) que unen los equipos electrónicos con la barra de tierra (3), estos equipos de tecnología de la información (TI) se unen mediante una conexión de baja impedancia (1) a una malla de tierra instalada en un falso piso del local. El lado de la cuadrícula (a) de esa retícula se calculara por la siguiente expresión.

$$a = \frac{1}{k} \times \frac{c}{f}$$

Donde:

c - Velocidad de la Luz

f - frecuencia de la señal de interés

k – Constante que toma el valor de 30 para aplicaciones ordinarias y el valor de 50 para aplicaciones que exijan alta confiabilidad como en importantes nodos de comunicaciones o en la protección contra la adquisición no autorizada de datos clasificados (TEMPEST protection)

La reducción de las corrientes por los lazos de tierra solo puede alcanzarse con retículas de tierra como la de la fig 5 ya que esta reduce las diferencias de potencial entre dos puntos lejanos de la retícula. No obstante a la implementación de esta medida todas las necesidades de señal de tierra, para los diferentes puertos de un equipo se tomaran desde un solo punto como indica la fig. 6

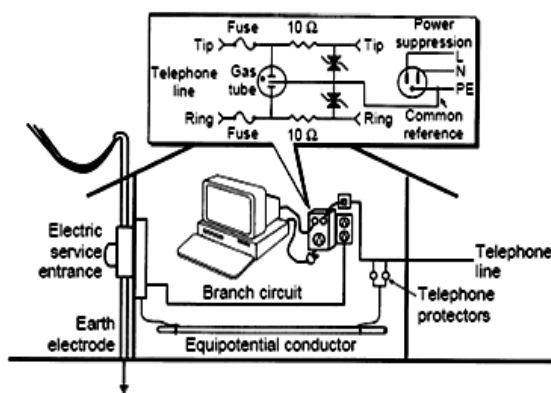


Fig. 6

4.1. Caso particular de los equipos médicos. Evaluación aparte llevan las instalaciones hospitalarias y los equipos médicos. En primer lugar los equipos médicos usados en áreas quirúrgicas, salas de cuidados intensivos o neonatología son equipos Clase II de aislamiento que por lo general no tienen borne externo de puesta a tierra aunque si tienen espiga de tierra en el tomacorriente. Este tomacorriente tiene su borne de tierra aislado del puente metálico, de modo que las corrientes de fuga de la fuente del equipo médico retornan a la fuente local por el conductor PE exclusivamente.

En el caso de centros de cálculo las corrientes de fuga circulan por el conductor PE, por la retícula e incluso por partes conductoras extrañas. Los tomacorrientes para TI si tienen continuidad entre el puente metálico y la espiga de puesta a tierra del tomacorriente.

4.2. Reducción de ruido.- Para reducir los ruidos eléctricos y electrónicos debe implementarse un sistema de puesta a tierra que tome en cuenta soluciones tanto en el alambrado como en el equipamiento.

Los equipos de categoría I de resistencia al impulso no se conectan directamente al sistema de suministro público, sino a través de transformadores secos.

Este desacoplamiento con un transformador de doble pantalla electrostática garantiza un buen aislamiento galvánico en alta y baja frecuencia conduciendo las corrientes de modo común hacia la masa y permite cambiar el régimen de neutro en cualquier punto del sistema.

Debe asegurarse que el neutro *no* sea puesto a tierra en el lado de la carga del interruptor general, o en algún otro punto dentro del edificio, de modo que el neutro y el conductor de puesta a tierra se unirá solo en el origen y no podrán trocarse durante todo el recorrido.

4.3. Empalmes y conexiones.- Una conexión es un proceso que establece un camino de baja impedancia al flujo de una corriente eléctrica entre dos objetos metálicos.

Requerimientos de un enlace efectivo.- La resistencia debe permanecer baja con el paso del tiempo.

Para reducir la EMI se requiere un camino de menos de 50 mΩ. Una resistencia de enlace de 1 mΩ es considerada como de una alta calidad.

Existen tres tipos de enlaces:

- Clase A.- Mediante uniones soldadas. El calor intenso aplicado durante la soldadura es suficiente para destruir cualquier capa contaminante haciendo que la resistencia neta de este tipo de enlace sea casi cero. Además tiene alta resistencia mecánica y corrosión mínima. Ver Fig. 7

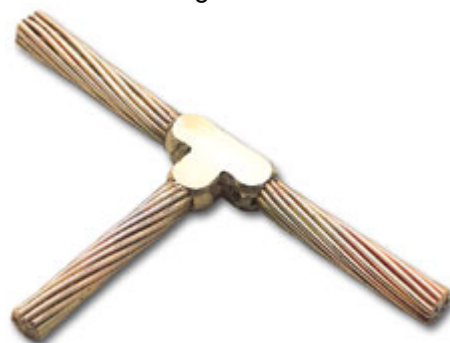


Fig. 7

- Clase B.- Mediante mordazas (o perros conectores). La resistencia medida a CD tiene que ser inferior a 0,1 Ω. Ver Fig. 8

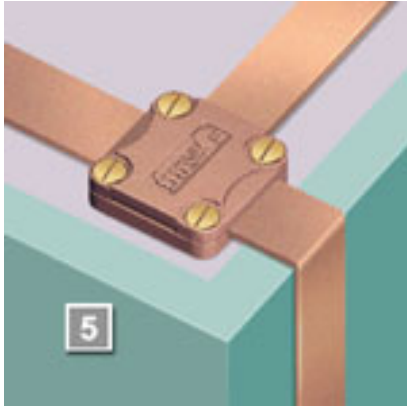
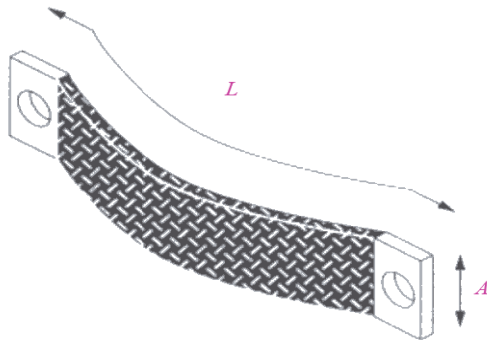


Fig. 8

- Clase C.- Puentes mediante flejes o correas flexibles de cobre. La resistencia medida a CD tiene que ser inferior a $0,1 \Omega$. Para su mejor desempeño desde el punto de vista de la EMC la relación entre la longitud (L) de la correa entre su ancho (A) tiene que estar entre 3 y 5. Ver Fig. 9



$$\frac{L}{A} < 3 \div 5$$

Fig. 9

5. Otros aspectos a tomar en cuenta.

5.1. Bucles de Masa. Es la superficie comprendida entre un cable funcional y el conductor o masa mecánica más cercana. Es imprescindible hacer pasar los cables funcionales en toda su longitud lo más cerca posible de las masas, ya que los bucles de masa están entre las principales fuentes de ruido en modo común ante perturbaciones radiadas.

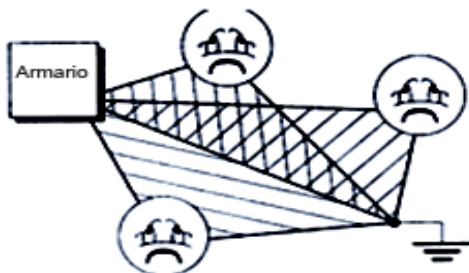


Fig 10

Fig. 10.- Enlace radial incorrecto de las masas de la apartamento, debido a los bucles de masa de gran superficie

Las tecnologías de cableado estructurado para las redes de datos ayudan por su propia construcción e instrucciones de montaje a reducir los lazos de acoplamiento inductivo entre las diferentes redes que llegan a los equipos informáticos e igualmente respetan las distancias mínimas entre los distintos tipos de redes para evitar las interferencias.

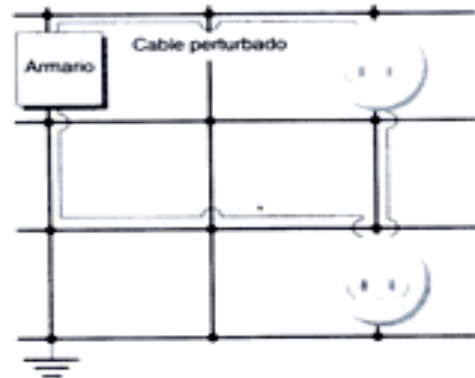


Fig. 11

El mallado en la equipotencialización de las masas mostrado en la fig. 11 reduce las perturbaciones radiadas.

Es altamente recomendable montar un plano de masas por piso. Con este fin podría usarse el acero de refuerzo del hormigón armado.

Ubicación de equipos.

La ubicación de locales que alojan equipos sensibles debe ser estudiada cuidadosamente. Un buen diseño tiene en cuenta tres barreras contra las perturbaciones:

- La protección externa contra el rayo de la edificación.
- El apantallamiento espacial de la habitación y,
- La envolvente metálica del equipo.

5.2. Apantallamiento

En entornos con alta polución electromagnética es ineludible usar las técnicas de apantallado.

Una primera pantalla sería la que traen los conductores de fábrica.

Los conductores de datos apantallados (STP), si no se montan adecuadamente pueden traer más problemas que beneficios. Los aspectos más significativos en la implementación de esta técnica es que los extremos de la pantalla tengan el mismo potencial respecto a masa, esto es

realmente un impedimento para que las redes con este tipo de conductor metálico tengan grandes longitudes. Para aplicaciones de gran confiabilidad en redes de más de 15m se debe pasar al uso de la fibra óptica plástica.

Un segundo nivel de pantalla usado en entornos de altísimo nivel de ruido son las canalizaciones metálicas para distribuir redes de conductores apantallados, ya sean tuberías, canales o bandejas para electricidad.

En el caso de los conductores eléctricos usados para transportar energía, se fabrican conductores apantallados pero tienen un precio tal que por lo general es más económico apantallarlos mediante tuberías y bandejas para electricidad.

5.3. Ruteo de circuitos. Entradas soterradas de redes.

Los componentes y cables perturbadores deben mantenerse separados espacialmente de los sensibles. Se recomienda asignar un armario a cada clase de componente.

Es sumamente necesario que todas las redes entren y salgan de los edificios por un mismo lugar. Todas las partes metálicas de estas redes se conectarán a la barra principal de tierra en los puntos de entrada, tal y como se indica en la figura 12

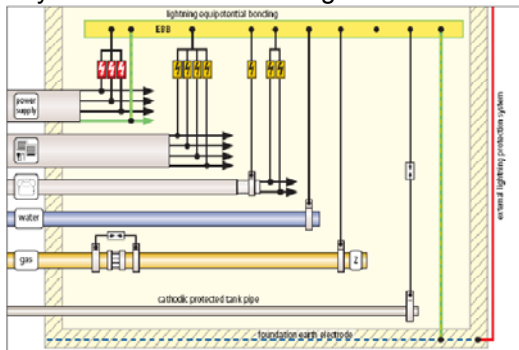


Fig. 12

5.4. Aplicación de supresores y filtros en las redes. – Los supresores de sobretensión y los filtros se usan para suplementar y soportar las técnicas de protección por puesta a tierra, pero no son opcionales, es mandatorio su uso.

Los sistemas de protección poseen tres clases de componentes de protección transitoria:

- Dispositivos que cortocircuitan la sobretensión (GDT). Se usan en el primer nivel de protección. Tienen altos niveles de impulso y tensión residual.
- Dispositivos que limitan la sobretensión (MOV). Se utilizan a partir del segundo nivel de protección. Tienen

tensiones residuales compatibles con los equipos electrónicos.

- Dispositivos de discriminación de frecuencia (Filtros capacitivos e inductivos). Los filtros inductivos ayudan para la coordinación energética entre los diferentes niveles de protectores y los capacitivos, que se ponen en el último nivel por lo general combinados con transformadores de segregación galvánica, permiten drenar a tierra los ruidos de alta frecuencia en el secundario de los transformadores.

Debe tenerse en cuenta las características de inmunidad y emisión de todo el equipamiento

La planificación de no menos de tres niveles de protección con supresores de tensión, el desacople por transformador y el filtrado de la alimentación es necesaria cuando se protegen equipos de alta tecnología digital.

5.5. Medidas debido a los armónicos.-

Tener en cuenta la forma en que se calcula la corriente por el neutro en la norma NC IEC 60364-5-52, puesto que las corrientes por el neutro pueden llegar a ser mayores que las corrientes de fase cuando el contenido de la tercera armónica de la corriente de fase supera el 33%. No olvidar que por el neutro circula además, la corriente de desbalance de las fases.

El neutro que une el transformador seco con el panel de distribución de equipos sensibles puede llegar a tener el doble de capacidad de corriente que las fases.

En cargas sensibles no se comparten los neutros sino que se envía uno para cada fase en circuitos monofásicos.

IV. Conclusiones

Las edificaciones que alojan equipamiento electrónico sensible requieren de una planificación y estudio minucioso que tome en cuenta los aspectos tratados en este artículo y otro conjunto de aspectos que no se mencionan pero que pueden consultarse en un grupo de normas que posee el Instituto de investigaciones en Normalización tales como la IEC 61000 y la IEEE Std 1100.

V. Referencias

Se ha usado como referencia bibliográfica los siguientes materiales para la elaboración del presente documento.

- Artículo "How to inspect Facility Ground Systems" de la USCG TRACEN Pentaluma.
- Norma IEC 60364-4-44.
- Norma NC IEC 61000-5-2

- d. Norma MIL HDBK 419A
- e. Norma NC IEC 62305
- f. Norma IEEE Std 1100



Datos del autor. José Felipe Pomares Orbea, Graduado de Ingeniero Electricista en 1983 en la Facultad de Ingeniería Eléctrica del ISPJAE. Hasta el 2003

trabajó en diferentes empresas vinculadas a la construcción, el montaje y los proyectos eléctricos. Desde el 2004, trabaja en la Oficina Nacional de Normalización como Secretario del Comité Electrotécnico Cubano (CEC). Tiene otras dos publicaciones en eventos nacionales del CEC, sobre los “Esquemas de Verificación Eléctrica de las Instalaciones” y las “Instalaciones Eléctricas en Hospitales”.

e-Mail: cec@ncnorma.cu