



Received: 23-04-2019
Accepted: 08-05-2019

Anales de Edificación
Vol. 5, N° 2, 30-39 (2019)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2019.4043

Influencia del Sistema de Puesta a Tierra en la Compatibilidad Electromagnética en Edificios Hospitalarios. Influence of Grounding Systems in the Electromagnetic Compatibility in Hospital Buildings

Esteban P. Dominguez Gonzalez-Seco^a, José Manuel Gómez Pulido^b, David Gomez Gomez^a & Igor Aguirrebeña Alcelay^c

^aUniversidad Politécnica de Madrid (estebanpatricio.dominguez@upm.es; david.gomez@upm.es), ^bUniversity of Alcala (jose.gomez@uah.es), ^cUniversidad Europea de Madrid

Resumen—El estudio desarrolla un análisis de la compatibilidad electromagnética en los recintos hospitalarios. En el mismo se trata de establecer las características del diseño inicial de la red eléctrica que permiten obtener un contexto electromagnético óptimo en el funcionamiento de los sistemas hospitalarios. En el trabajo se aborda el análisis de los distintos regímenes de neutro de las instalaciones de baja tensión, con el objeto de establecer un estándar justificado que facilite la operación y funcionamiento de la instalación eléctrica y de comunicaciones en los sistemas hospitalarios. El análisis de los datos recabados permite proponer la utilización del régimen de neutro TN-S. Finalmente, se plantea para un futuro desarrollo normativo y de diseño la utilización del régimen de neutro TN-S como medida correctora para mejorar el funcionamiento electromagnético de centros hospitalarios.

Palabras Clave— campo electromagnético; uso hospitalario; compatibilidad electromagnética; instalaciones eléctricas.

Abstract—This research analyzes the electromagnetic compatibility in hospital buildings and tries to establish the initial design features of its low voltage systems for the better electromagnetic context. The present study analyzes different neutral regimes in low voltage networks and proposes a justified standard for electrical and communication networks which allows an optimal running in hospital systems. Based on the data and outcomings it is proposed a TN-S grounding system. It is proposed, for a future regulation development, the use of the TN-S grounding system for a better electromagnetic operation in hospital buildings.

Index Terms— electromagnetic field; hospital building; electromagnetic compatibility; electrical network.

Dominguez González-Seco, Esteban P., Profesor en Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. Avenida de Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid, Spain. (e-mail: estebanpatricio.dominguez@upm.es)

Gómez Pulido, José Manuel, Departamento de Ciencias de la Computación, Escuela Politécnica, Universidad de Alcalá, 28871 Alcala de Henares, Spain. (e-mail: jose.gomez@uah.es).

Gómez Gómez, David, Profesor en Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. Avenida de Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid, Spain. (e-mail: david.gomez@upm.es)

Aguirrebeña Alcelay, Igor, Profesor en Universidad Europea de Madrid.

I. INTRODUCCIÓN

Para analizar la compatibilidad electromagnética en los recintos hospitalarios se han seleccionado dos centros en funcionamiento que han permitido obtener valores reales de puesta a tierra, tanto en régimen TN-S como en régimen TT. Paralelamente, se ha procedido a la simulación, mediante software específico, del comportamiento de la red en ambos centros.

La puesta a tierra, también llamada régimen de neutro, “es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico, o de una parte conductora no perteneciente al mismo, mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo”. El objetivo de esta unión consiste, básicamente, en “conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas del terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, se permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o de las descargas de origen atmosférico”.

En definitiva las puestas a tierra se establecen principalmente con un triple objetivo:

- Limitar la tensión que, con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las masas metálicas de la instalación; protegiendo consecuentemente al usuario de una tensión de contacto que sea peligrosa para él o el entorno.
- Asegurar la actuación de las protecciones proyectadas, especialmente Dispositivos Diferenciales Residuales (DDR) o equivalentes.
- Eliminar o mitigar el riesgo que supone una avería en los componentes eléctricos de la instalación eléctrica.

En la actualidad, en España se utilizan distintos esquemas de puesta a tierra, reconocidos en la reglamentación vigente, y desarrollados a partir de la experiencia acumulada en relación a la protección de las personas durante el proceso de evolución de las instalaciones eléctricas. La denominación de estos esquemas se realiza con un código de letras que tienen el siguiente significado:

A. Primera letra

Identifica la situación de la alimentación con respecto a tierra, es decir la disposición del neutro del transformador de alimentación de la carga en el origen de la instalación. Puede tomar los siguientes valores:

- T: Conexión directa de un punto de alimentación a tierra.
- I: Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra respecto a través de una impedancia.

B. Segunda letra

Referida a la situación de las masas de la instalación receptora con respecto a tierra:

- T: Masas conectadas a tierra, independientemente de la tierra de la alimentación.
- N: Masas conectadas al neutro de la alimentación.

C. Tercera letra (eventual)

Indica la situación relativa del conductor neutro frente al de protección:

- S: Conductor neutro (N) y de protección (CP) separados.
- C: Conductor neutro y de protección combinado (CPN).

Las combinaciones anteriores conducen a tres posibles esquemas que presentan diferentes características de instalación y funcionales.

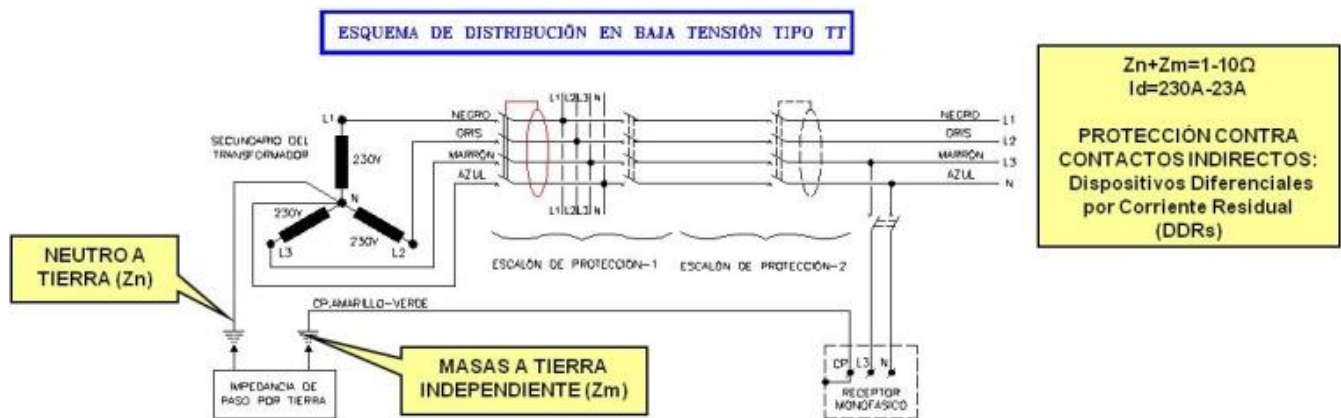


Fig. 1. Esquema funcional de distribución tipo TT. Fuente: Elaboración propia.

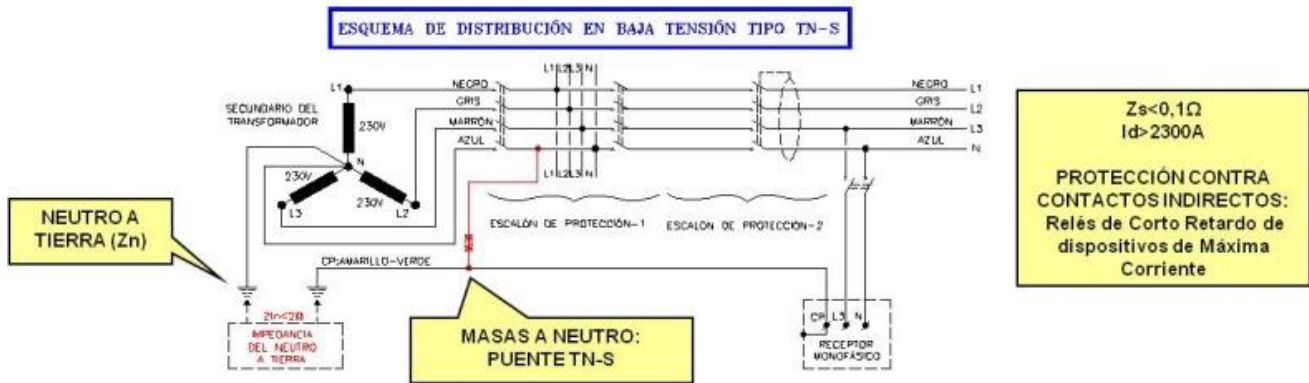


Fig. 2. Esquema funcional de distribución tipo TN-S. Fuente: Elaboración propia.

El esquema TT (Fig. 1) tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro, que está conectado directamente a tierra; de ahí la primera T de su designación (T: Conexión directa de un punto de alimentación a tierra). Por otra parte, las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación, por lo que aparece la segunda T que da nombre al sistema (T: Masas conectadas a tierra, independientemente de la tierra de la alimentación).

Los esquemas TN (Fig. 2) tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro, conectado directamente a tierra; de ahí la primera T de su designación (T: Conexión directa de un punto de alimentación a tierra). En este caso, las masas de la instalación receptora están conectadas a dicho punto mediante conductores de protección, por lo que aparece la letra N que da nombre al sistema (N: Masas conectadas al neutro de la alimentación).

En los esquemas IT (Fig. 3), el neutro del transformador está aislado de Tierra o conectado a través de una impedancia de elevado valor (I: Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a

tierra respecto a través de una impedancia). Por su parte, las masas metálicas están conectadas a una toma de tierra exclusiva (T: Masas conectadas a tierra, independientemente de la tierra de la alimentación).

En lo referente a la regulación, el uso del sistema IT está más vinculado a instalaciones donde es inviable la pérdida del servicio eléctrico; existiendo menos información en relación a los sistemas TI y TN. Por este motivo, el estudio desarrollado, referente a la compatibilidad electromagnética en los recintos hospitalarios, se centra en estos dos sistemas. El análisis de casos reales se complementa con la simulación mediante software específico del comportamiento de la red en dos centros hospitalarios. Para la comparativa se ha seleccionado un hospital real con cada tipo de puesta a tierra, aportando mediciones reales de valores de puesta a tierra tanto bajo TN-S como TT.

II. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA NACIONAL

Existen un gran número de normas y estudios relativos a la exposición a campos electromagnéticos y la salud

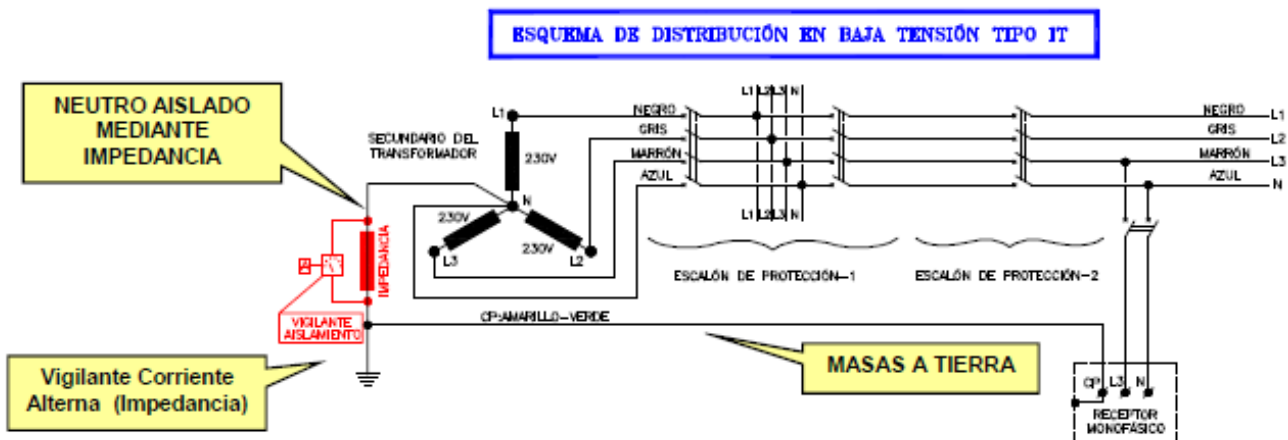


Fig. 3. Esquema funcional de distribución tipo IT. Fuente: Elaboración propia.

(Compatibilidad electromagnética de dispositivos médicos; Compatibilidad Electromagnética en equipos de radiocomunicaciones), pero normalmente están referidos los efectos de ondas de alta frecuencia y de tipo radiado. La corriente alterna del sistema eléctrico de baja tensión corresponde a una onda de 50 Hz de frecuencia que discurre por un elemento conductor aislado en los interiores de los inmuebles alimentados. Esta circunstancia hace que su afección sea a priori menor y, por tanto, no se ha generado gran cantidad de estudios al respecto.

En el ámbito español, sólo la norma UNE 50310:2007 marca ciertas recomendaciones para edificios con equipos de tecnología de información; pero se trata de una norma de carácter no vinculante y carece de justificación técnica asociada. En el ámbito sanitario (Hospitales) edificios con una alta densidad de equipos electrónicos no existen, ni indicaciones normativas, ni estudios de relevancia que vinculen los esquemas de puesta a tierra a su óptimo comportamiento

En relación a la normativa sectorial de aplicación, la más relevante, y de obligado cumplimiento es el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), aprobado en Real Decreto 842/2002 el 2 de agosto de 2002; y sus Instrucciones Técnicas Complementarias de Aplicación en referencia al sistema de puesta a tierra son:

- La ITC-BT-08, donde se definen los diferentes sistemas de conexión del Neutro y de las masas en las redes de distribución.
- La ITC-BT-18, que regula el montaje y diseño de la instalación de puesta a tierra.
- La ITC-BT-24, que establece los diferentes sistemas de protección contra contactos indirectos, en función del esquema seleccionado. Esta ITC precisa, asimismo, la metodología de cálculo de la resistencia de paso a tierra máxima en función del sistema escogido; y se marcan criterios de protección mínimos en función de la elección final del sistema

Adicionalmente el REBT indica que la elección de uno de los tres esquemas debe hacerse en función de las características técnicas y económicas de cada instalación, tomando en consideración los siguientes principios:

- El esquema de distribución para instalaciones interiores receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT.
- En instalaciones alimentadas en baja tensión, a partir de un centro de transformación de abonado, se podrá elegir cualquiera de los tres esquemas citados.
- Puede establecerse un esquema IT en parte o partes de una de una instalación alimentada directamente de una red de distribución pública mediante el uso de transformadores adecuados.

- Las instalaciones eléctricas en Quirófanos o Salas de Intervención deben disponer de transformador de aislamiento, bajo sistema IT, conforme a la ITC-BT-38.

Finalmente, en la ITC-BT-28 se indica que para la alimentación de los Servicios de Seguridad, se deberá elegir preferentemente medidas de protección contra contactos indirectos sin corte automático al primer defecto, es decir un esquema IT con controlador permanente de aislamiento. Sin embargo, el esquema TT es el más extendido en España en todos los tipos de edificios, dado que es el más sencillo de implementar en la instalación eléctrica, pese a que haya esquemas de conexión que sean más adecuados por razones de seguridad, continuidad de suministro o compatibilidad electromagnética.

III. PROPUESTA DE CAMBIOS EN LA NORMATIVA

En lo referente a posibles cambios en la normativa; como se avanzaba anteriormente el REBT no es concluyente respecto al régimen de neutro a emplear en cada instalación eléctrica, salvo excepciones muy concretas, dejando abierto al proyectista la elección del mismo. De esta forma la ITC- BT-08 sobre “Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica” tiene un valor más divulgativo que normativo en este ámbito.

La mayoría de la normativa de países de nuestro entorno, tanto reglamentos de ámbito nacional como normativas locales de sus Comités de Normalización, en base a la evidencia técnica de funcionamiento de cada sistema de puesta a tierra, establece pautas de diseño en función del uso y configuración del inmueble e incluso obligación directa de proyectar y ejecutar la instalación eléctrica bajo un régimen de neutro concreto.

Los comités normalizadores de ámbito internacional, tanto en el ámbito eléctrico como de comunicaciones recomiendan distintos régimen de neutros en función del tipo de edificación y uso de la misma.

Por todo lo anterior, se desarrolla una propuesta de norma que modifique en su punto 3 a la mencionada ITC BT 08. La selección de un determinado esquema de distribución puede venir definido por los siguientes factores:

- Instrucciones Técnicas Complementarias que exigen un determinado esquema de conexión, por ejemplo la ITC-BT-38 que exige transformadores de aislamiento (esquema IT) en Salas de Intervención y Quirófanos.
- Posibilidad de elegir un esquema de distribución concreto, al disponer de un transformador privado que permita su implantación. De no ser así y dado que red de distribución pública de baja tensión es en esquema TT, el régimen de neutro estaría condicionado a ser TT, al no haber posibilidad de conversión.

- Exigencias sobre la explotación y condiciones de funcionamiento de la instalación, como puede ser la continuidad del suministro.

- Condiciones y características del mantenimiento de la instalación. Algunos regímenes de neutro requieren de un mantenimiento eléctrico más especializado y con presencia física en el edificio, como por ejemplo el IT.

- Destacar que en una instalación eléctrica pueden coexistir diferentes regímenes de neutro, lo que es una garantía de poder obtener la mejor respuesta a las necesidades de continuidad del suministro y seguridad.

En base a lo anterior una modificación lógica y compatible con el entorno normativo internacional sería cambiar la ITC BT 08 en su artículo 3 (Fig. 4).

En el caso que nos ocupa es conveniente diseñar con un sistema TN-S en ámbito hospitalario por las ventajas eléctricas que este sistema aporta a la instalación que son las siguientes:

- No es preceptivo el empleo de DDRs (diferenciales) desde el CGBT hasta los cuadros secundarios.

- Se evita el “disparo intempestivo” de cabecera (de 30mA).

| TIPOLOGÍA DE LA INSTALACIÓN | ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN MARCADO |
|---|---------------------------------|
| Instalaciones que representan un riesgo de incendio o explosión alto y disponen de servicio de mantenimiento cualificado tales como industrias, refinerías, centros logísticos de almacenaje y equivalentes. | IT |
| Redes de control, supervisión, mando y control (se debe disponer de personal de mantenimiento), tanto edificios cuya labor sea la mencionada (torres de control aeroportuario o equivalente) como para infraestructuras dentro de inmuebles con estas características. | |
| Servicios de seguridad que funcionen en caso de incendio y deban garantizar la continuidad del servicio (se debe disponer de personal de mantenimiento) tales como sistemas de extinción, sistemas de gestión de humos o elementos vinculados a la evacuación de ocupantes. | |
| Redes eléctricas muy extensas o con corrientes esperadas de fuga altas como edificios de oficinas | TN-S |
| Instalaciones con posibilidad de perturbaciones electromagnéticas | |
| Instalaciones con equipos electrónicos o equipos informáticos tales como centros de cálculo, centros educativos, centros comerciales o equivalentes. | |
| Cargas con un nivel de aislamiento bajo (hornos eléctricos, soldaduras, elementos de caldeo, etc) | |
| Redes generales de distribución eléctrica en Centros Sanitarios que dispongan de Quirófanos y Salas de Intervención | TT |
| Instalaciones que no dispongan de Centro de Transformación propio o de abonado. Se incluye edificación residencial. | |
| Instalaciones que representan un riesgo de incendio alto y no disponen de servicio de mantenimiento cualificado. El riesgo de incendio se definirá de acuerdo con lo dispuesto en el Documento Básico DB SI del Código Técnico de la Edificación en su versión vigente. | |
| Instalaciones sometidas a modificaciones frecuentes tales como fábricas, talleres o equivalente. En este caso se permite el cambio a sistema TN-S ó IT si el proyectista y propiedad lo solicitan. | |

Fig. 4. Cuadro resumen del artículo 3 de la norma ITC BT 08.

- Se cumple rigurosamente con la ITC-BT-38 del REBT en su punto 2.1.4 para líneas de alimentación a paneles de aislamiento donde no se permiten los DDRs como protección contra contactos indirectos.

- La solución técnica que aporta el TN-S es más económica que la TT y, por los puntos anteriormente indicados, garantiza en mayor grado la continuidad del suministro eléctrico en el Hospital.

IV. METODOLOGÍA

Para evaluar la afección del CEM al usuario se puede constatar que las magnitudes más adecuadas para su comparativa son las derivadas; tales como la intensidad de campo eléctrico (E medido en V/m) y la intensidad de campo magnético (H medida en A/m).

Consecuentemente, para medir las interferencias provocadas por el campo electrostático residual y el campo electromagnético en el entorno del equipo electromédico y el personal se ha procedido a trabajar con estos valores y; volviendo al enfoque de la hipótesis a validar, un sistema más respetuoso será aquel que lleve asociado un menor campo eléctrico generado en V/m en la zona de ubicación de equipos y sondas así como un menor campo electromagnético medido en A/m. Todo ello lógicamente evaluado por la producción de la perturbación en rangos de frecuencias del orden de los 50 Hz que es la utilizada para el transporte de corriente alterna trifásica en España.

La metodología seguida para el análisis está basada en simulaciones informáticas, para la obtención de los parámetros requeridos. El software por el que se ha optado han sido los programas ETAP y CST. Se empleará el ETAP para las simulaciones eléctricas y el CST para la simulación electromagnética detallada. En primer lugar, con el simulador ETAP, se han realizado las simulaciones de los dos escenarios objeto del estudio (hospital con distribución TT y hospital con distribución TN-S). Con esta primera simulación se han obtenido los parámetros de funcionamiento eléctrico de ambos complejos desde el punto de vista eléctrico. En segundo lugar, con el simulador CST, mediante la reproducción de un escenario simplificado se obtendrá el campo eléctrico y magnético debido al funcionamiento eléctrico de cada complejo.

Como datos de partida se toman las distintas infraestructuras eléctricas de cada uno de los complejos Hospitalarios desde la red de tierras prevista hasta los cuadros secundarios o de reparto de las zonas afectadas por la simulación. Para modelizar los sistemas se requieren la resistencia de paso a tierra de cada uno de ellos. En vez de partir de los valores teóricos de diseño se han empleado mediciones directas de las redes ejecutadas.

V. MODELIZACIÓN

Con el objetivo de conocer el comportamiento eléctrico de cada uno de los hospitales en régimen nominal de carga se inicia, como se ha explicado en epígrafes anteriores, el proceso de modelización eléctrica mediante el programa ETAP. Con este programa se pueden obtener los parámetros de funcionamiento eléctrico de cada hospital mediante un cálculo de flujo de cargas que en último término nos permita calcular un equivalente eléctrico (equivalente Thevenin) de los

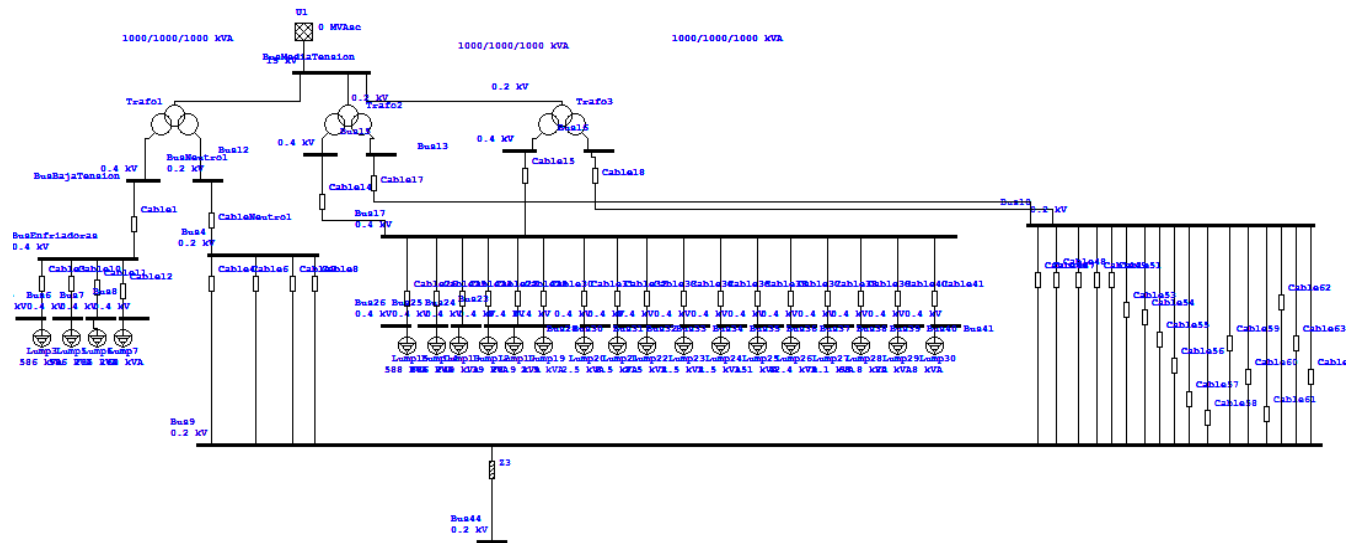


Fig. 5. Ejemplo de modelización eléctrica mediante ETAP.

tramos de la red cuyo comportamiento electromagnético se pretenden conocer y comparar.

En las figuras anexas se muestra el interface gráfico obtenido de cada hospital una vez modelado. Se han simulado las líneas generales desde los distintos centros de transformación (CT) a cuadros secundarios en primera instancia. En concreto se aporta, a modo de ejemplo en este documento, el CT-1 de cada uno de los complejos hospitalarios (Fig. 5).

En cada caso se introducen en el programa las características eléctricas requeridas para el flujo de cargas tales como:

- Potencias aparentes y niveles de tensión de cada transformador.
- Impedancias de las líneas de conexión entre equipos y/o cargas.
- Caracterización de la carga mediante su potencia activa y factor de potencia asociado.

En cada uno de los casos se puede agregar un sistema de puesta a tierra con las configuraciones a modelar (TT y TN-S respectivamente) dando características concretas a cada uno de ellos, en concreto las resistencias de paso a tierra definidas o medidas en cada hospital.

Por tanto en cada línea y carga del hospital se pueden calcular las magnitudes eléctricas principales en funcionamiento. Desde un punto de vista de simulación electromagnética los datos principales a obtener son las corrientes circulantes por las líneas y el neutro por un lado y por otro los niveles reales de tensión de acceso a cada zona para el planteamiento del equivalente Thevenin. También son evaluables las corrientes que atraviesan por el neutro. En estos valores se encuentra la principal diferencia entre este sistema

TT y el sistema TN-S ya que a igualdad de condiciones de carga el sistema TT genera mayores desequilibrios en el neutro que el sistema TN-S.

Por tanto con este primer proceso de modelización y simulación se pueden obtener de manera fidedigna los principales parámetros eléctricos que serán la base para evaluar la bondad electromagnética de cada sistema.

En cada complejo hospitalario se van a realizar dos simulaciones distintas. En la primera de ellas, se va a modelizar la red desde el centro de transformación hasta los cuadros secundarios. En este primer caso, se podrá observar que reparto de cargas se produce en cada caso (tomando las nominales marcadas en proyecto previa simulación por eléctrica realizada con el programa ETAP) y la diferencia que se produce entre las dos distribuciones de puesta a tierra. Lógicamente las condiciones de servicio y la distinta infraestructura nos llevarán a parámetros eléctricos de partida diferentes para cada caso.

Una vez establecido el comportamiento en las redes troncales del inmueble, se va a comprobar que influencia tiene la distinta alimentación eléctrica en una red más capilar, es decir en una red que alimente a un equipo donde también haya cableado de comunicaciones en las proximidades, ya que es en ese punto donde resulta interesante evaluar las interferencias electromagnéticas para validar las hipótesis marcadas. El escenario a simular será el último tramo de conexión del cableado eléctrico hasta los equipos de electromedicina.

Para esta simulación electromagnética las características eléctricas de los componentes han sido obtenidas de los manuales de los fabricantes cuyo material es el realmente ejecutado en cada hospital.

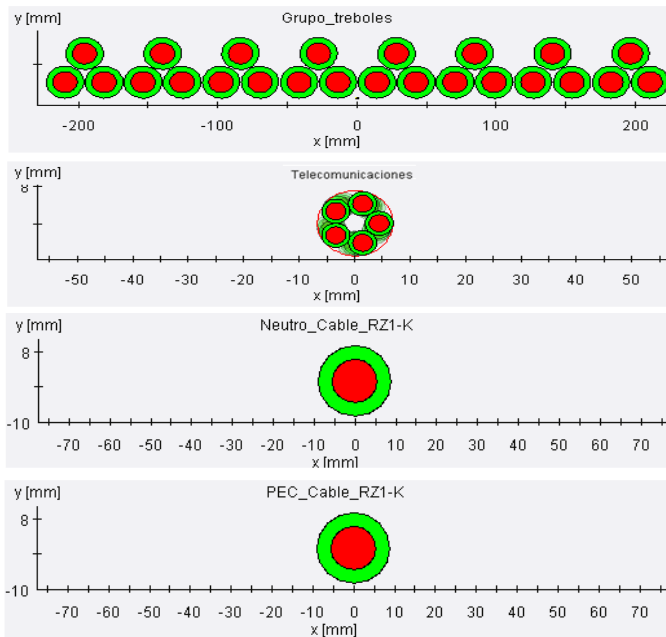


Fig. 6. Esquema del cableado utilizado.

De la misma forma se modeliza el cable de conductor neutro o del conductor de protección o incluso las canalizaciones (bandejas) requeridas para el funcionamiento

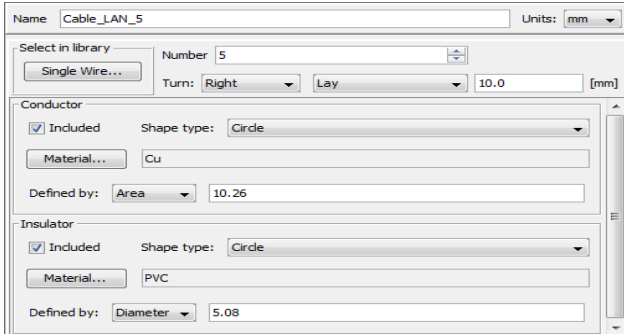


Fig. 7. Entrada datos de cableado de comunicaciones en el programa CST.

del complejo. De las distintas modelizaciones desarrolladas se exponen a continuación las correspondientes a etapas finales de la red, es decir en el recinto hospitalario donde se alojan los posibles equipos de electro medicina.

En las figuras adjuntas se muestra el esquema de montaje previsto para la simulación así como la pantalla de introducción de datos para los sistemas eléctricos del Hospital (Fig. 6 y 7).

Toda la infraestructura eléctrica y de comunicaciones se modela hasta la conexión del equipo (equivalente al de electromedicina) al que se le dota de una envolvente como si fuera un cuadro eléctrico. De esta forma el espacio de cálculo transcurre entre la envolvente o cuadro de salida y el punto de alimentación o envolvente de entrada.

En las figuras adjuntas se muestra la sección de la canaleta diseñada siguiendo la normativa descrita y una imagen 3D del programa con la modelización en la zona de conexión del equipo. La distancia mínima por norma es de 20 cm al cableado eléctrico, por tanto, se estudia la influencia a esta distancia (Fig. 8).

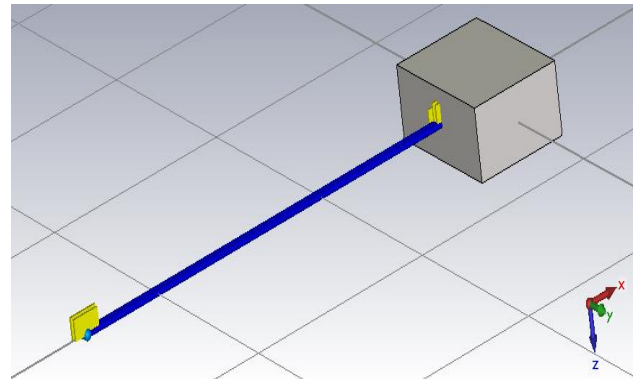


Fig. 8. Modelado del servicio de comunicaciones hasta su entronque con la envolvente del equipo.

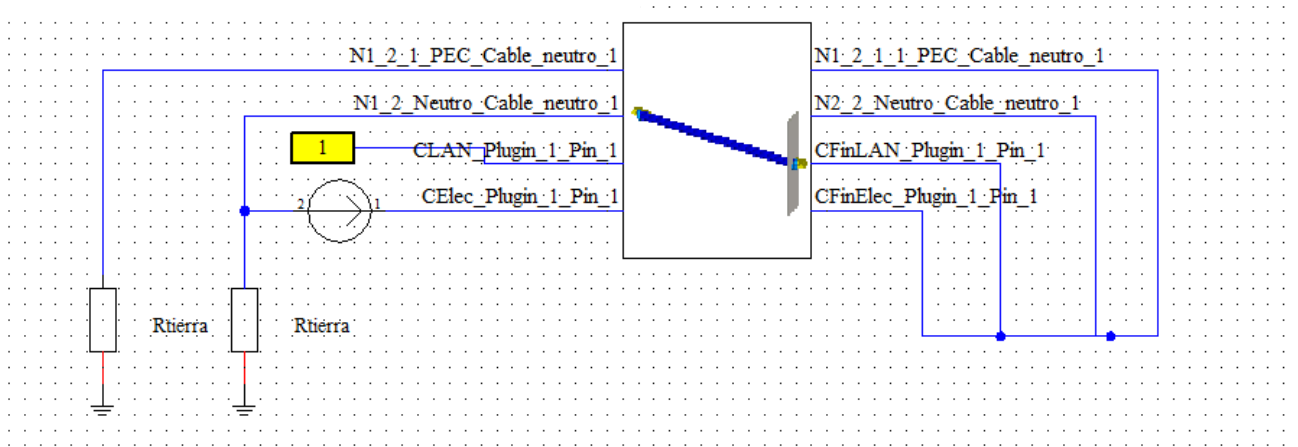


Fig. 9. Esquema de modelización simplificado en el tramo de cuadro secundario a equipo electro médico en el Hospital de Ceuta en esquema TT.

En todas las simulaciones realizadas se ha sacado el mallado y posterior modelado del sistema en modelo 2D. Para este caso se ha supuesto una alimentación monofásica al equipo con ondas de tensión de 230 V de valor eficaz y 50 Hz de frecuencia. A modo de ejemplo se muestra el modelo simplificado obtenido para una conexión TT en la figura

adjunta (Fig. 9).

Si comparamos de forma efectiva el campo eléctrico generado en V/m en cada sistema de conexión tal y como se ha hecho en la figura adjunta se aprecia como el TN-S es más adecuado en su conexión a equipos que el TT (Fig. 10).

De forma análoga si se evalúa el campo magnético en el

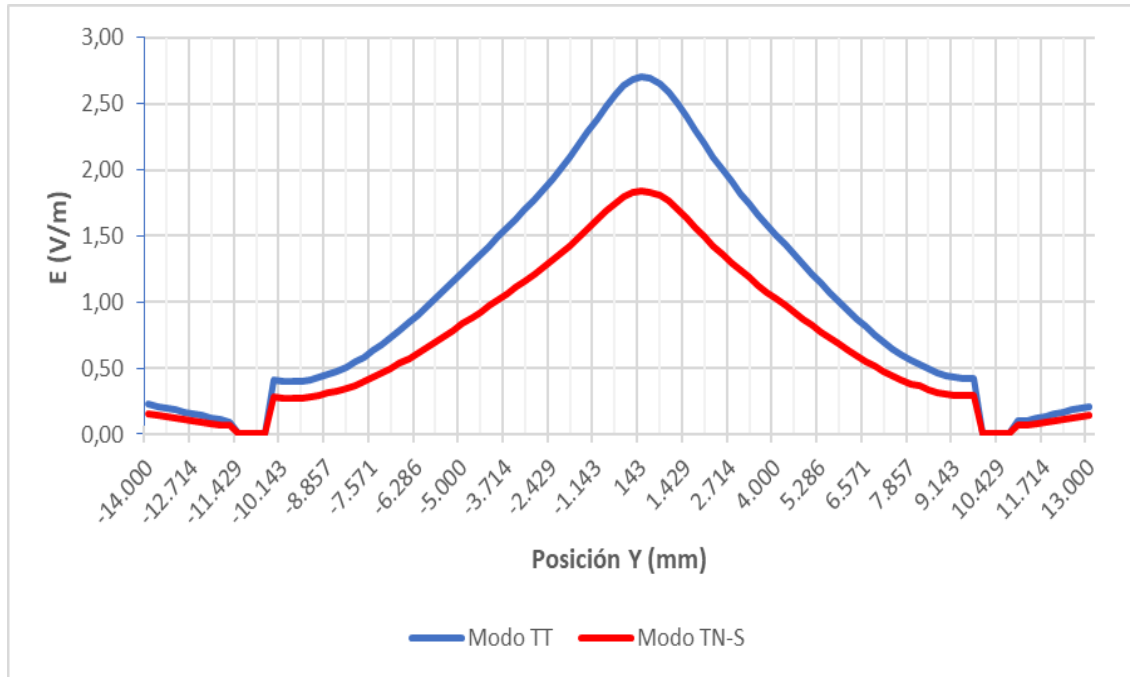


Fig. 10. Campo eléctrico (V/m) obtenido en ambos sistemas en el cableado de comunicaciones.

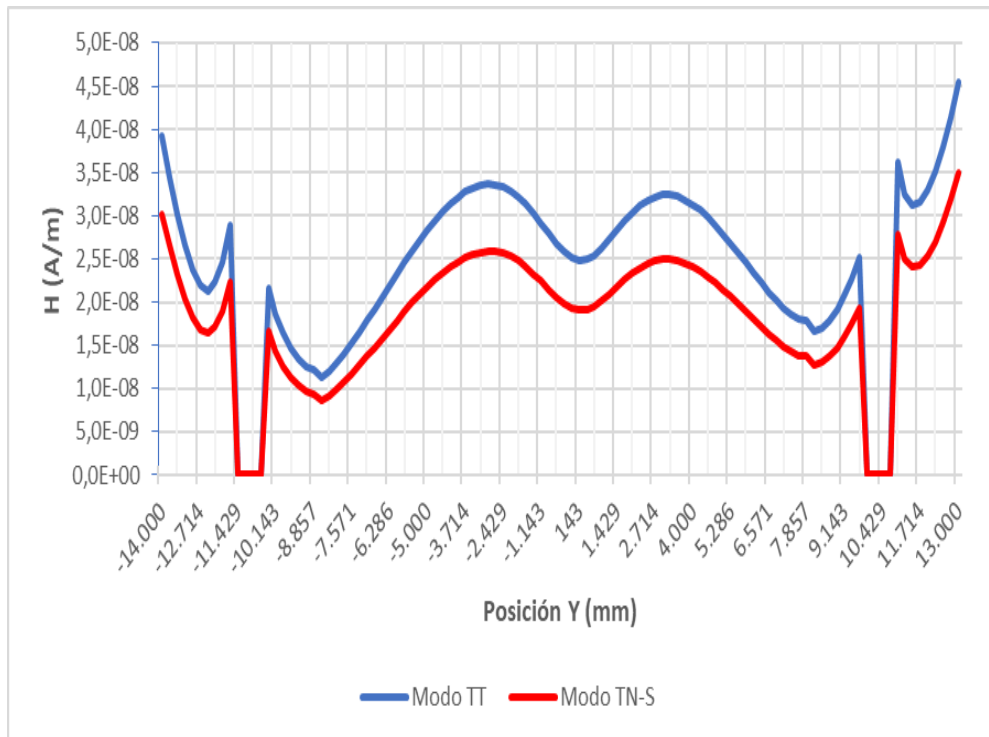


Fig. 11. Campo magnético (A/m) obtenido en ambos sistemas en el cableado de comunicaciones.

cableado de comunicaciones obteniendo los A/m generados en ambos sistemas tal y como se aprecia en la figura siguiente se llega a conclusiones similares a las enunciadas para el campo eléctrico (Fig. 11).

VI. CONCLUSIONES

Sobre el objetivo marcado, que era el analizar para un ámbito hospitalario qué sistema de puesta a tierra es más respetuoso con el funcionamiento de los equipos de electro-medicina que alberga en su interior y tras la modelización hecha se demuestra que el impacto electromagnético del sistema TN-S es inferior al producido por el TT.

En relación al campo eléctrico generado, en los resultados de las simulaciones se puede contrastar que si bien el orden de magnitud es equivalente, cuantitativamente hablando, el sistema TN-S de puesta a tierra presenta menos campo eléctrico en el entorno de la zona de trabajo que el TT hasta en un 100 % según el punto de simulación. Esto ocurre en cualquier tramo de los simulados, tanto en distribuciones generales desde CGBT (Cuadro general de baja tensión) hasta CS (Cuadros Secundarios de reparto) como en las distribuciones capilares de alimentación a equipos. En cualquier caso los valores obtenidos están muy por debajo de los valores de exposición recomendados para este tipo de perturbaciones.

Si bien las mayores diferencias aparecen en las distribuciones generales es justo en estas zonas hospitalarias (vinculadas a galerías o paso de instalaciones) donde no hay presencia habitual de personas aunque sí de instalaciones de comunicaciones por lo que si no se respetan las distancias y distribuciones marcadas en las normas de referencia sí que se podría incurrir en algún funcionamiento anómalo de la instalación.

En relación al campo magnético generado las conclusiones son análogas. Si bien la diferencia más significativa es que respecto a valores normativos de exposición y marcados en las normas de referencia la influencia es mayor desde el punto de vista cuantitativo que en el caso del campo eléctrico. En este caso la norma UNE-EN 60601-1-2:2008 sobre equipos electro médicos en su Parte 1-2 sobre ensayos sí que establece de forma directa la medición del campo magnético en A/m como requisito funcional de los equipos en su entorno de trabajo. En la tabla 6.3 se resumen los requisitos mencionados.

Como se observa en las figuras con las salidas de datos de simulación el orden de magnitud resultante es muy inferior al nivel de conformidad admitido por lo que ambos sistemas cumplirían con la norma de referencia con holgura. No obstante el sistema TN-S genera mejores condiciones de funcionamiento alcanzando máximos del campo mucho menores que el esquema TT, es decir existen variaciones de hasta un orden de magnitud aunque siempre en valores lejanos a los normativos (Tabla I).

TABLA I

Resumen de la tabla de ensayos del fabricante sobre inmunidad electromagnética. Fuente: Norma UNE-EN 60601-1-2:2008

| Ensayo de inmunidad | Nivel de ensayo de la Norma IEC 60601 | Nivel de conformidad |
|--|---------------------------------------|----------------------|
| Campo magnético a frecuencia de red (50/60 Hz) según IEC_61000-4-8 | 3 A/m | 0,3 A/m |

Si contrastamos estos datos frente a los criterios de conformidad marcados para el campo eléctrico empleando las mismas fuentes los resultados lógicamente son análogos ya que los valores límite establecidos para el usuario son mayores que los descritos para la CEM de los equipos de electro medicina.

Los valores de referencia se muestran en la tabla II como resumen de los límites de exposición recomendados por la ICNIRP.

TABLA II

Valores de referencia de los límites de exposición recomendados por la ICNIRP

| Intervalo de frecuencia | Intensidad de campo magnético en A/m | Densidad de flujo magnético (μ T) |
|-------------------------|--------------------------------------|--|
| 0.025 – 0.82 kHz | 20/f | 25/f |

La aplicación de este criterio para ondas a 50 Hz lleva a umbrales máximos de 0,4 A/m por lo que, como se ha comentado, las conclusiones expuestas siguen siendo válidas.

Por tanto, parece confirmarse que lo indicado en la norma UNE 50310:2007, aunque en un contexto general para equipos de tecnología de información, es lo correcto.

En definitiva se demuestra la hipótesis enunciada al demostrar que en un ámbito hospitalario un régimen de neutro establecido según un sistema TN-S es más adecuado que el habitualmente proyectado que es el TT y que este sistema constituye, por diseño, una herramienta que, no solo facilita la explotación del inmueble desde un punto de vista eléctrico, sino que es una técnica correctora adecuada para generar un contexto electromagnético óptimo para el funcionamiento de los equipos de electro medicina que alberga en su interior.

REFERENCES

- Aliman, O., & Musirin, I. (2013). Overcurrent relays coordination for commercial building. Paper presented at the 608-612.
- Cátedra, M. F., & Pérez-Arriaga, J. (1999). Cell planning for wireless communications. Boston, Mass [u.a.]: Artech House.
- Conexión de los neutros de los transformadores en la red de unión fenosa distribución. Unión Fenosa.
- Dawalibi, F. P., Wei Xiong, & Jinxi Ma. (1995). Transient performance of substation structures and associated grounding systems. IEEE Transactions on Industry

- Applications, 31(3), 520-527. doi:10.1109/28.382112.
- Denny, H. W. (1983). *Grounding for the control of EMI* (1. ed. ed.). Gainesville, Va: Don White Consultants.
- Distribución del neutro en redes de MT de distribución y protecciones asociadas. Unión Fenosa.
- Gómez, J. M., Cejudo, S., González, I., & Cátedra, F. (2007). Application of high frequencies techniques for location systems.
- Grcev, L. (2001). Modelling of grounding systems for better protection of communication installations against effects from electric power system and lightning. Paper presented at the 461-468. doi:20010637.
- Grcev, L. D., & Heimbach, M. (1997). Frequency dependent and transient characteristics of substation grounding systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(1), 172-178. doi:10.1109/61.568238.
- Grounding and bonding in command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance (C4ISR) facilities(2002). . Washington, D.C: Headquarters, Dept. of the Army.
- Haijun Liu, Mitolo, M., & Jun Qiu. (2014). Ground-fault loop impedance calculations in low-voltage single-phase systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(2), 1331-1337. doi:10.1109/TIA.2013.2272285.
- Hassan, A. M., Abdallah, E. N., & Abbasy, N. H. (Mar 2012). Design and simulation of interconnected A.C substation grounding grid in oil & gas industries. Paper presented at the 188-193. doi:10.1109/JEC-ECC.2012.6186981.
- IARC Official Publication. (2002). Non-ionizing radiation, part 1 : Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Albany: World Health Organization.
- IEEE std 1100-2005 (revision of IEEE std 1100-1999): IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment (2006). IEEE.
- IEEE std C57.32-2015 (revision of IEEE std 32-1972): IEEE standard for requirements, terminology, and test procedures for neutral grounding devices (2016). IEEE.
- Jinxi Ma, & Dawalibi, F. P. (2009). Computerized analysis of grounding plates in multilayer soils. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(2), 650-655.
- Kaemarungsi, K. (2006). Distribution of WLAN received signal strength indication for indoor location determination. Paper presented at the 6. doi:10.1109/ISWPC.2006.1613601.
- Kaemarungsi, K., & Krishnamurthy, P. (2004). Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting. Paper presented at the 14-23. doi:10.1109/MOBICQ.2004.1331706.
- Kirar, M. K., & Aginhotri, G. (2012). Cable sizing and effects of cable length on dynamic performance of induction motor. Paper presented at the 1-6. doi:10.1109/PowerI.2012.6479482.
- Li, Y. X., Dawalibi, F. P., & Ma, J. X. (2012). Grounding system analysis and design considerations for large hydroelectric power plant. *Advanced Materials Research*, 516-517, 1359-1366.
- Liu, Y. (2004). Transient response of grounding systems caused by lightning: Modelling and experiments. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/305050057>.
- Ma, J., & Dawalibi, F. P. (1998). Modern computational methods for the design and analysis of power system grounding. Paper presented at the , 1 126 vol.1. doi:10.1109/ICPST.1998.728937.
- Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría UNESA.
- Mitolo, M., Freschi, F., Haijun Liu, & Tartaglia, M. (2013). Latent potential differences between exposed-conductive-parts under ground-fault conditions in low-voltage systems. Paper presented at the 137-143. doi:10.1109/ESW.2013.6509014.
- Ramos González, V. (2005). Compatibilidad electromagnética y seguridad en aplicaciones de redes personales sin hilos para biotelemedicina. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10017/805>
- Saez de Adana, F., Gutierrez Blanco, O., Gonzalez Diego, I., Perez Arriaga, J., & Catedra, M. F. (2000). Propagation model based on ray tracing for the design of personal communication systems in indoor environments. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(6), 2105-2112.
- Vyas, K. A., & Jamnani, J. G. (2011). Optimal design and development of software for design of substation grounding system. Paper presented at the 1-7. doi:10.1109/NUiConE.2011.6153288.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.