

## **Cálculo del Campo Magnético en el Interior de Edificaciones con Sistemas de Protección Contra Rayos**

**Walter M. Villa, Johnatan M. Rodríguez, Jaime A. Valencia y John E. Álvarez**

Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Grupo de Manejo Eficiente de la Energía-GIMEL, Carrera 53 # 61-30, torre 2, Lab. 228, Medellín-Colombia  
(erial: retwal@gmail.com; jvalenci@udea.edu.co)

---

### **Resumen**

Se presenta una metodología para el cálculo del campo magnético, en el interior de edificaciones con sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (LPS). Los conductores del LPS y el canal de la descarga se consideran haciendo uso del modelo electromagnético híbrido, que parte de las expresiones de Maxwell en el dominio de la frecuencia. Inicialmente, son determinados los acoples inductivos y capacitivos entre los diferentes elementos conductores de LPS, lo que a su vez permite calcular la distribución de la corriente de la descarga en el sistema. Luego, se calcula la intensidad de campo magnético en puntos en el interior de la estructura impactada. Finalmente, se hace la caracterización de la intensidad de campo magnético en superficies dentro de la estructura. Los resultados son comparados con los obtenidos mediante otras metodologías propuestas, demostrándose que la herramienta y la metodología desarrolladas son adecuadas para determinar el campo magnético en el interior de edificaciones con sistemas LPS.

*Palabras clave: campo magnético, método electromagnético híbrido, rayos, sistemas de protección*

## **Magnetic Field Calculation Inside Buildings with Lightning Protection Systems**

### **Abstract**

A methodology for the calculation of the magnetic field inside buildings with Lightning Protection System (LPS), is presented. The conductors of the LPS and the lightning channel are considered by using the hybrid electromagnetic model, which is based on the frequency domain of Maxwell's equations. First, the inductive and capacitive couplings between the different conductors of the LPS are calculated to determine the lightning current distribution in the system. Then, the magnetic field strength is calculated in some points inside the struck structure. Finally, it is presented a characterization of the magnetic strength on different surfaces inside the structure. Results are compared with results of other methodologies proposed in then literature, showing that tool and methodology proposed in this work is adequate to determine the magnetic field inside buildings with LPS.

*Keywords: magnetic field, electromagnetic hybrid model, lightning, lightning protection systems*

## INTRODUCCIÓN

Las descargas eléctricas atmosféricas son fuentes de interferencia electromagnética que pueden ser riesgosas para la vida humana y causar daños en los equipos electrónicos. En las normas internacionales como la IEC (62305-1, 2004; 62305-2, 2004; 62305-3, 2004; 62305-4, 2004), se propone para la protección de edificaciones y su contenido, un sistema integral de protección contra rayos que se compone de una protección externa (Lightning Protection System, LPS) y otra interna. El diseño del LPS se realiza haciendo uso del modelo electrogeométrico que permite obtener un sistema de protección que capta y drena adecuadamente la corriente del rayo. Sin embargo, la simple aplicación de este modelo no garantiza niveles tolerables de campo electromagnético en el interior de la edificación apantallada.

En estas normas se imponen técnicas y procedimientos para el diseño de LPS, pero no se establecen criterios claros para la evaluación del campo magnético en el interior de una estructura apantallada impactada por un rayo. Cuando un rayo impacta una estructura apantallada, las corrientes que circulan por los conductores del LPS en su camino hacia la puesta a tierra pueden generar niveles de interferencia altos, por lo que se hace necesario evaluar las intensidades de campo magnético que se producen por esta causa en el interior de las edificaciones (IEC 62305-3, 2004).

Existen metodologías desarrolladas en el dominio del tiempo y de la frecuencia que permiten evaluar el campo magnético producido por una descarga eléctrica atmosférica al interior de una estructura apantallada. Entre las metodologías en el dominio de la frecuencia, está la desarrollada por Orlandi et al. (1998), que permite evaluar la distribución del campo magnético en el interior de las estructuras y calcular las tensiones inducidas en lazos de conductores en su interior, además hace consideraciones probabilísticas para el análisis de los efectos de los rayos. En el dominio del tiempo se tienen metodologías como la desarrollada por investigadores de la Universidad de Sao Paulo (Sartori et al., 2002, Sartori y Orlandi, 2000; Sartori, 1999; Sartori et al., 1998; Sartori y Cardoso, 1995; Sartori y Cardoso, 1994) y del Instituto de ingeniería de alta tensión y alta corriente de la universidad tecnológica de Dresden (Smolke y Engelmann, 1995), las cuales permiten evaluar los campos magnéticos al interior de estructuras que conducen la corriente del rayo, y hacer otros análisis como la efectividad de apantallamiento de equipos y voltajes inducidos en lazos de conductores.

En este artículo se propone una metodología que permite conocer los valores de la intensidad de campo magnético que se presentan en el interior de una estructura apantallada ante un impacto de rayo. Ésta se basa en el método electromagnético híbrido (Visacro y Soares, 2005) para calcular la distribución de las corrientes en los elementos conductores del LPS y posteriormente evaluar la distribución de campo magnético. Este método permite determinar los acoples capacitivos, inductivos y resistivos entre los elementos conductores del LPS. Además, realizar los cálculos en el dominio de la frecuencia permite tener en cuenta las variaciones de la resistividad y la permitividad dieléctrica del suelo con la frecuencia (Moreno et al., 2007; Gómez et al., 2006; Visacro y Soares, 2005; Visacro, 2005). Esta metodología se desarrolla en el rango de 0 a 1 MHz, dado que en este rango se encuentran las componentes fundamentales de las descargas eléctricas atmosféricas típicas (1,2/50  $\mu$ s), (Visacro, 2005). A partir de los resultados hasta aquí obtenidos, se pueden obtener otras magnitudes que permiten caracterizar el ambiente electromagnético al interior de las estructuras apantalladas tales como: voltajes inducidos en lazos conductores y la energía de campo magnético, estas últimas serán desarrolladas en trabajos posteriores.

Por otra parte, en este trabajo se valida el cálculo de la distribución de las corrientes por el LPS comparando los resultados obtenidos con medidas experimentales realizadas por otros autores.

## METODOLOGÍA

La metodología planteada en este trabajo consta de una serie de pasos que permiten determinar la distribución del campo magnético al interior de una estructura impactada por un rayo. El primer paso consiste en modelar el LPS y el canal de la descarga como conductores de iguales características. El

segundo paso es determinar la distribución de corrientes por los conductores del LPS producida por la corriente del rayo. El tercer paso consiste en calcular la intensidad de campo magnético como una función de la corriente en los elementos conductores del LPS y el canal.

#### *Modelo del LPS y el canal de la descarga*

Los elementos conductores que componen el LPS, como son: bajantes, pararrayos tipo Franklin y el canal del rayo se simulan como conductores cilíndricos circulares de un diámetro dado. El suelo se considera perfectamente conductor para realizar los cálculos de distribución de la corriente por el sistema a través del método de las imágenes.

#### *Cálculo de la distribución de corrientes*

El cálculo de la distribución de corrientes en la estructura se hace a través del método electromagnético híbrido (Moreno et al., 2007; Visacro y Soares, 2005), mediante el cual se determinan los acoples inductivos y capacitivos (mutuos y propios) entre los elementos conductores del LPS y el canal del rayo utilizando el método de segmentación e imágenes. Los elementos conductores del sistema se dividen en elementos más pequeños, cuya longitud debe ser mucho mayor que su radio para que sea válida la aproximación a hilos de grosor infinitesimal en el eje de cada segmento. En cada uno de estos segmentos se consideran una fuente de corriente transversal y otra fuente de corriente longitudinal.

El acoplamiento transversal eléctrico, conductivo y capacitivo entre segmentos conductores relaciona la diferencia de potencial medio respecto del infinito ( $V_{ij}$ ) en el segmento receptor ( $i$ ) generada por la densidad lineal de corriente transversal ( $I_{Tj} / L_j$ ) que emana del segmento emisor ( $j$ ), donde  $L_j$  es la longitud del conductor emisor. Por su parte, el acoplamiento magnético inductivo entre los segmentos conductores se expresa como la relación entre la caída de tensión en el segmento receptor ( $i$ ), asociada a la parte no conservativa del campo eléctrico ( $\Delta V_{ij}$ ), generada por la corriente longitudinal en el segmento emisor  $j$  ( $I_{Lj}$ ).

El acoplamiento transversal se puede expresar a través de (Visacro y Soares, 2005):

$$Z_{Tij} = \frac{1}{4\pi[\sigma(\omega) + j\omega\epsilon(\omega)]L_iL_j} \int_{L_i} \int_{L_j} \frac{e^{-kr}}{r} dl_j dl_i \quad (1)$$

Mientras que el acoplamiento longitudinal se puede expresar como:

$$Z_{Lij} = -j \frac{\omega\mu}{4\pi} \int_{L_i} \int_{L_j} \frac{e^{-kr}}{r} d\vec{l}_j \cdot d\vec{l}_i \quad (2)$$

Donde  $\sigma$ ,  $\epsilon$  y  $\mu$  son la conductividad eléctrica, permitividad y permeabilidad eléctrica del medio respectivamente.

$d\vec{l}_j, d\vec{l}_i$  son los vectores diferenciales de longitud en el segmento emisor y en el receptor respectivamente.

$k$  es la constante de propagación en el medio y se define como  $k^2 = -\omega^2\mu\epsilon(\omega) + j\omega\mu\sigma(\omega)$ .

$L_i, L_j$  corresponden a las longitudes del segmento receptor y emisor, respectivamente.

$\omega$  es la frecuencia angular de la señal de corriente y se define como  $\omega = 2\pi f$ , siendo  $f$  la frecuencia en Hz.

$r$  es la distancia entre los elementos diferenciales  $d\vec{l}_j, d\vec{l}_i$ .

Si se calcula el acople longitudinal y transversal entre cada par de segmentos que componen el sistema, se puede construir un sistema matricial que contiene estos acoples mutuos  $[Z_T], [Z_L]$ .

Dado que  $[Z_T]$  y  $[Z_L]$  expresan sistemas matriciales independientes deben ser acoplados ya que solo se tiene un sistema físico. Las corrientes transversal y longitudinal en cada segmento conductor se pueden expresar en forma matricial como:

$$[I_T] = [Y_{TM}] [V_N] \quad (3)$$

$$[I_L] = [Y_{LM}] [V_N] \quad (4)$$

Donde  $[V_N]$  es el vector de tensiones de nodo,  $[Y_{TM}]$  y  $[Y_{LM}]$  son matrices transformadas de dimensiones  $N \times P$  que se denominan matrices de admitancia transversal y longitudinal, donde  $N$  es el número total de segmentos (ramas) del sistema, y  $P$  es el número de nodos.

Aplicando la ley Kirchoff de corrientes se pueden relacionar las corrientes longitudinales y transversales para llegar a un sistema de la forma:

$$[A][V_N] = [b] \quad (5)$$

Siendo  $[A]$  la matriz resultante de las relaciones entre las corrientes longitudinales y transversales para cada nodo de conexión entre dos o más segmentos y  $[b]$  es el vector de fuentes de corrientes (Moreno et al., 2007; Gómez et al., 2006; Visacro y Soares, 2005). Dado que la matriz  $[A]$  es conocida, pues depende de la geometría del sistema y valores constantes conocidos, es posible determinar el vector  $[V_N]$  y así las corrientes longitudinales en cada uno de los segmentos  $[I_L]$ .

Para elementos fuentes en el aire, se considera el suelo como un medio perfectamente conductor, así la componente del campo eléctrico tangencial a la interfaz entre aire y suelo debe ser nulo. Por lo tanto la presencia del suelo debe ser tenida en cuenta empleando el método de las imágenes y la condición de frontera de intensidad de campo eléctrico tangencial nulo determina el posicionamiento de la imagen.

Para elementos fuentes en el suelo, se considera que el suelo posee una conductividad mucho mayor que la del aire. Por lo tanto, la componente de la intensidad de campo eléctrico normal a la interfaz de separación aire-suelo debe ser nula. Las imágenes deben ser consideradas para garantizar la condición de campo eléctrico normal a la interfaz nula.

Con esta metodología también pueden determinarse las tensiones de nodos y las tensiones transitorias en el sistema de puesta a tierra y estructuras aéreas (Gómez et al., 2006;).

#### *Cálculo de la Intensidad de Campo Magnético*

Una vez obtenidas las corrientes longitudinales, se puede calcular la intensidad de campo magnético  $\vec{H}(s, x_i, y_i, z_i)$  en un punto de coordenadas  $(x_i, y_i, z_i)$  en el dominio de la frecuencia  $(s)$ .

Para un solo segmento  $(j)$  por el cual circula la corriente longitudinal  $I_{Lj}(s)$ , la intensidad de campo magnético producida en un punto de interés  $(i)$  se puede expresar como (Orlandi et al., 1998; Stratton, 1941);

$$\vec{H}_j(s, x_i, y_i, z_i) = \frac{I_j(s)}{4\pi} \int_{L_j} \vec{k} \times \frac{\vec{r}_0}{r^2} dl \quad (6)$$

Donde  $\vec{k}$  es un vector unitario en la dirección de la corriente,  $L_j$  es la longitud del segmento,  $r$  es la magnitud del vector que une el punto de interés ( $i$ ) con la fuente ( $j$ ) y  $\vec{r}_0$  es un vector unitario sobre el vector  $\vec{r}$  que une el punto de interés ( $i$ ) con la fuente ( $j$ ), dirigido de  $j$  a  $i$ .

Aplicando este procedimiento a todos los segmentos conductores del LPS, puede obtenerse a través de superposición el valor total de la intensidad de campo magnético en este punto. Si se extiende este cálculo a un conjunto de puntos de interés, se pueden determinar superficies de igual intensidad de campo magnético, así como curvas de igual magnitud de intensidad de campo magnético.

### VALIDACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTES CALCULADAS EN LPS

En esta sección se evaluará la precisión del método de cálculo de las corrientes longitudinales por medio de comparación con las medidas experimentales realizadas en Orlandi et al. (1995). Para evaluar la distribución de las corrientes longitudinales calculadas en los conductores del LPS, se utilizan coeficientes de división o de distribución de la corriente  $k_c$  (IEC 62305-3, 2004). Este coeficiente  $k_c$  se define como la relación entre el valor máximo de la corriente en el conductor bajo consideración  $I_i$  y el valor máximo de la corriente impulsiva  $I$  que se inyecta en la estructura.

$$k_{ci} = \frac{I_i \max}{I \max} \quad (7)$$

Para validar el modulo de cálculo de la distribución de corriente se comparan los coeficientes de división obtenidos a través de la simulación de la estructura mostrada en la figura 1, con los calculados en Ala y Silvestre (2002) y los medidos en Orlandi et al. (1995).

En Orlandi et al (1995), se evalúa un sistema de protección externa LPS con las siguientes dimensiones: 22 m x 5 m y una altura 3,5 m. Las líneas gruesas representan los conductores aéreos y las delgadas los subterráneos.

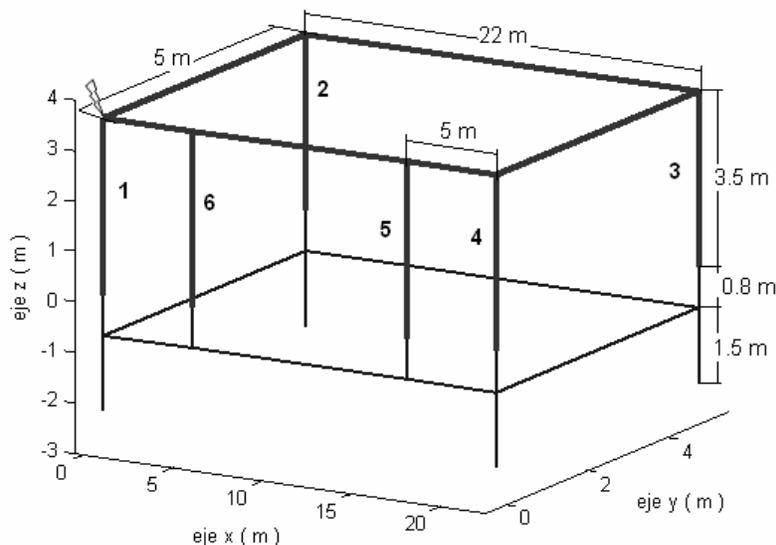


Fig. 1: Configuración de LPS reportada en Orlandi et al. (1995).

Inicialmente los conductores bajantes están colocados en las cuatro esquinas del LPS (bajantes 1 hasta 4), se calcula  $k_c$  en el bajante numero uno. Posteriormente se colocan otros dos conductores bajantes (6 y 5) a una distancia de 5 m y 17 m respectivamente, sobre el eje x y se evalúa el coeficiente de división de corriente  $k_c$  en el mismo bajante.

Para la puesta a tierra se colocan conductores que interconectan los bajantes a una profundidad 0,8 m (horizontales) y electrodos verticales en cada esquina de longitud 1,5 m. La resistividad del suelo se considera de  $100 \Omega\text{m}$ , se inyecta una corriente de 210 A en la parte superior del bajante 1, con un tiempo de frente de  $15 \mu\text{s}$  y tiempo de cola de  $56 \mu\text{s}$  como en Orlandi et al. (1995).

Tabla 1: comparación entre los coeficientes  $k_c$  medidos y calculados

Numero de conductores bajantes	$k_c$ medido en Orlandi et al. (1995).	$k_c$ calculado en Ala et al (2002)	$k_c$ obtenido
4	0,49	0,484	0,501
5	0,48	0,458	0,481
6	0,41	0,388	0,394

En la tabla 1 se muestra la comparación entre los valores calculados y medidos de los coeficientes de división de la corriente cuya referencia es el conductor bajante numero uno. Se observa una buena concordancia de los valores obtenidos con las medidas experimentales reportadas en Orlandi et al. (1995), con un error no mayor al 4% con respecto a las medidas. Lo que permite concluir que la metodología de cálculo para la distribución de la corrientes es coherente y precisa, y que a partir de éstas se pueden calcular valores bastante precisos de la densidad e intensidad de campo magnético en cualquier punto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta metodología. Se muestran los resultados obtenidos evaluando los LPS simulado en Smolke y Engelmann (1995).

Se implementó la configuración de LPS simulada en Smolke y Engelmann (1995), con el fin de comparar los resultados obtenidos con otros que fueron obtenidos experimentalmente. En esta configuración no se modela el canal de la descarga, tal como se muestra en la figura 2.

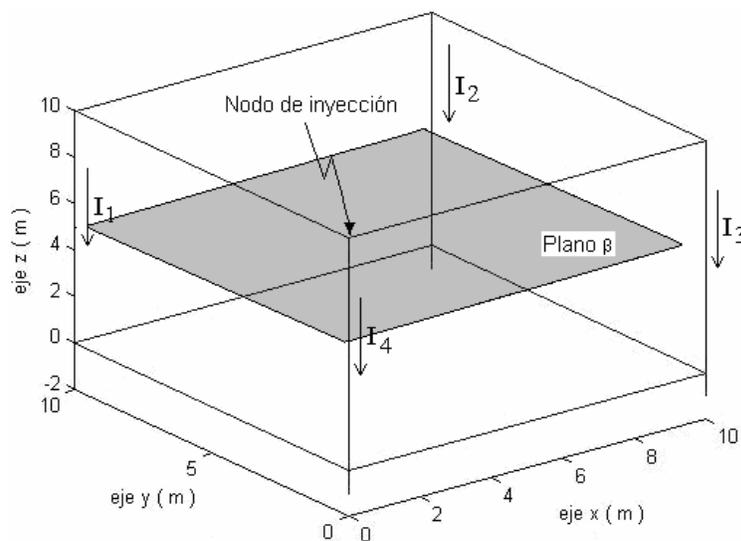


Fig. 2: Estructura de LPS considerada en Smolke y Engelmann (1995).

Esta estructura está compuesta por conductores de 10 mm de radio, tiene una altura de 10 m y 10 m de lado. La distribución de corrientes en el tiempo que se presenta en el LPS por cada uno de los bajantes, cuando se inyecta una onda doble exponencial con un valor pico de 100 kA, un tiempo de frente de  $1,2 \mu\text{s}$  y un tiempo de cola de  $50 \mu\text{s}$  en el nodo de coordenadas (0, 0, 10 m), se muestra en la figura 3.

En la figura 3 las corrientes  $I_1$  e  $I_3$  son iguales por la simetría que hay en relación al punto de impacto, mientras que la corriente  $I_4$  tiene la mayor magnitud e  $I_2$  tiene la menor magnitud. La corriente  $I_4$

corresponde al bajante más cercano del punto de impacto y la corriente  $I_2$  corresponde al bajante más lejano al punto de impacto. La distribución de las corrientes en LPS depende principalmente del lugar de impacto del rayo, y de la disposición de anillos y conductores bajantes que conforman el sistema.

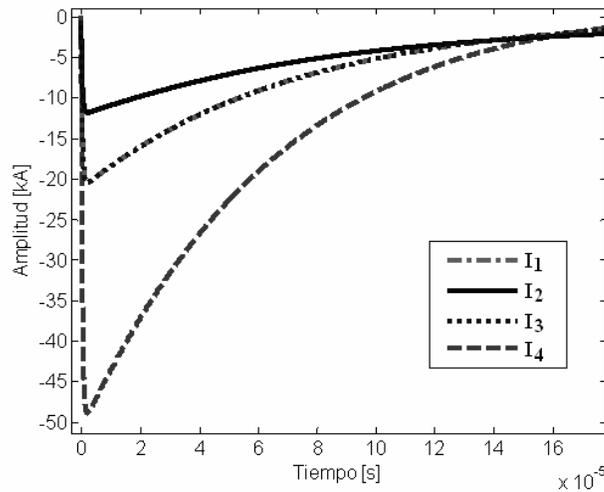


Fig. 3: Corrientes en los bajantes en el dominio del tiempo

A partir de la distribución de corrientes por los conductores del LPS, puede determinarse la intensidad de campo magnético en el plano  $\beta$  definido por  $0 \leq x \leq 10\text{m}$ ,  $0,5\text{m} \leq y \leq 9,5\text{m}$ ,  $z = 5\text{m}$ . Las máximas magnitudes de la intensidad de campo magnético se muestran en la figura 4.

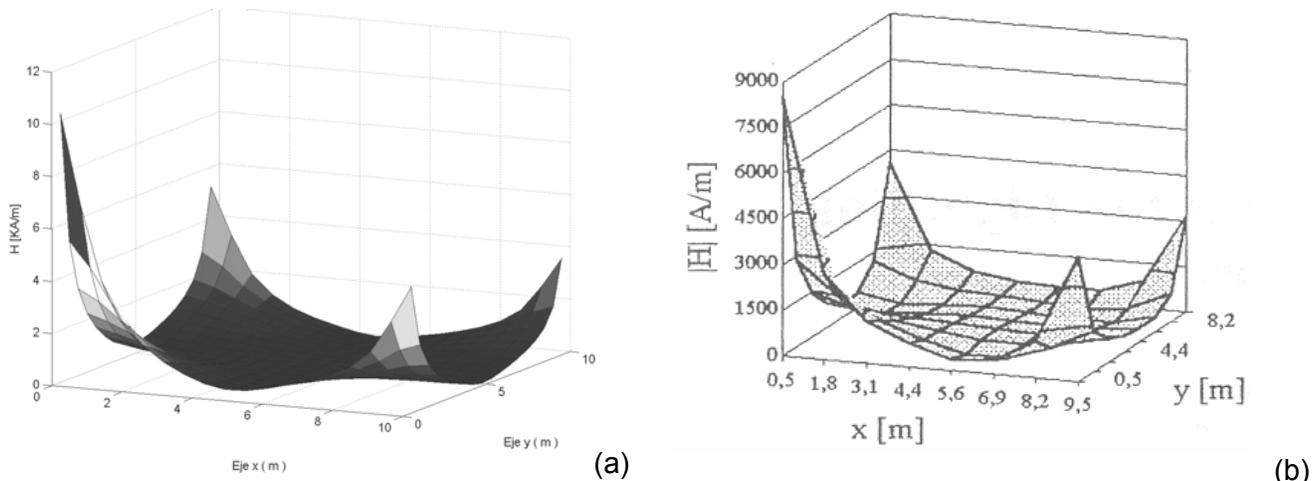


Fig. 4: Comparación de resultados. a) Metodología implementada vs. b) Smolke y Engelmann (1995).

En la figura 4 se observa la similitud de los resultados obtenidos con la metodología aquí implementada y los obtenidos por Smolke y Engelmann (1995), que calcularon un error del 10% entre las mediciones experimentales y los resultados obtenidos con el modelo computacional implementado.

En la figura 5 se muestran las curvas de iso-máxima intensidad para la misma superficie de intensidad de campo magnético de la figura 4; se observa que hay correspondencia entre la distribución de corrientes en el LPS y los niveles de intensidad de campo magnética en el plano, el mayor nivel está cerca al bajante que drena la corriente  $I_4$ . Los valores de intensidad de campo magnético en puntos cercanos a los bajantes que están a igual distancia del punto de impacto, tienen valores iguales, como era de esperarse dada la simetría del sistema, mientras que los valores más bajos se encuentran en las cercanías del bajante ubicado al frente del lugar del impacto. Además se puede observa la simetría de las curvas de iso-máxima intensidad de campo magnético para una diagonal entre el bajante mas cercano al punto de impacto y el bajante mas lejano al mismo.

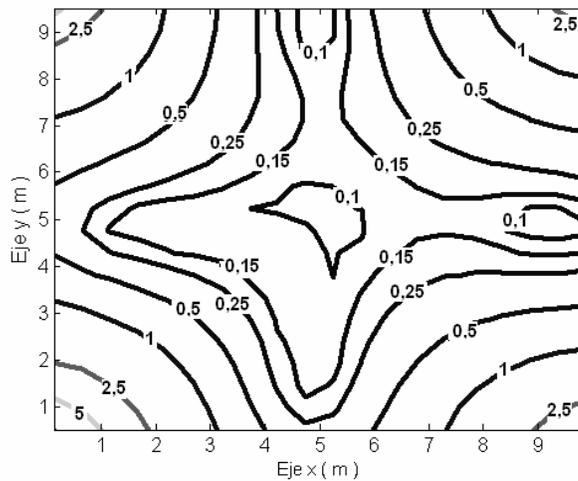


Fig. 5: Curvas de iso-máxima intensidad de campo magnético  $H$  [kA/m].

En la tabla 2 se muestran los valores máximos de intensidad de campo magnético obtenidos con la metodología aquí implementada y los obtenidos en Smolke y Engelmann (1995), correspondientes a los puntos P1 - P4 del plano E1 ( $z = h/2$ ), y que son mostrados en la figura 6.

El porcentaje de diferencia entre la metodología implementada y la desarrollada en Smolke y Engelmann (1995) es debido a que los autores simulan el LPS como un conjunto de resistencias de corriente continua, no consideran los acoples inductivos ni capacitivos.

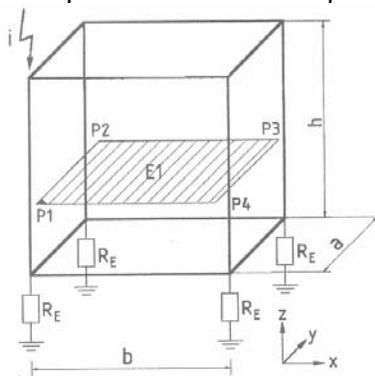


Fig. 6: Plano E1, en cuyas esquinas se calcula la máxima intensidad de campo magnético Smolke y Engelmann (1995)

Tabla 2: Comparación Smolke Vs Metodología implementada.

Punto	Intensidad $H$ [kA/m] en Smolke	Intensidad $H$ [kA/m] Metodología implementada	% Diferencia
P1	8,5	10,299	21,1
P2	4	4,883	22,00
P3	3	3,729	24,30
P4	4	5,2261	30,65

Los valores en la columna correspondiente a Smolke y Engelmann (1995) son obtenidos teóricamente, es decir, estos no incluyen el error de aproximadamente el 10% encontrado por los autores. Se observa en la tabla 2 que valores de intensidad de campo magnética calculados para la metodología presentada, muestran correspondencia con respecto al punto de cálculo (P1...P4) y el lugar de impacto de la descarga, presentándose una pequeña diferencia en magnitud entre el punto P2 y P4, que en principio deberían ser iguales. Sin embargo se presenta un comportamiento

coherente en todos los puntos de cálculo lo que adicionalmente nos sirve de prueba de validación de la metodología implementada.

Los efectos más notorios de los campos magnéticos generados por los rayos se presentan en equipos electrónicos sensibles los cuales se pueden ver afectados en su funcionamiento incluso por tensiones inducidas, por otra parte, respecto a los efectos biológicos de los campos magnéticos, la mayoría de investigaciones realizadas se han trabajado a frecuencias extremadamente bajas (50Hz ó 60Hz), algunas pocas han realizado trabajos experimentales analizando los campos magnéticos de corrientes pulsadas, la mayoría de conclusiones se obtienen a partir de estadísticas epidémicas.

Estudios experimentales han mostrado que el grado de daño en células humanas provocado por los campos magnéticos de corrientes pulsadas, tiene relación directa con la magnitud de la densidad de flujo magnético ( $B_m$ ), la rata de crecimiento del campo ( $dB/dt$ ) y el tiempo a la mitad del valor pico de la onda ( $T_2$ ). Cuando el producto determinado por  $B_m \times (dB/dt)^2 \times T_2$  excede un determinado valor ( $4.6 \times 10^{11}$ ), ocurre la destrucción de la célula (Xueling et al., 2006). Como puede verse en la expresión mostrada anteriormente, los problemas que causan los campos magnéticos a la salud, están relacionados directamente con el tiempo de exposición y su magnitud, hasta el momento no hay estudios conclusivos sobre el riesgo de exposición a los campos magnéticos.

## CONCLUSIONES

Se propuso una metodología para la evaluación de campo magnético producido por una descarga eléctrica atmosférica, en un volumen de interés que puede considerar puntos dentro y fuera de la estructura.

Esta metodología ha sido implementada en una herramienta computacional validada con resultados de la literatura técnica internacional y por consistencia de resultados para puntos homólogos en el interior de una estructura.

La herramienta permite análisis del ambiente electromagnético que pueden orientar el diseño e instalación de LPS en edificaciones de diversas destinaciones.

Lo anterior constituye un aporte para la caracterización de la compatibilidad electromagnética en el interior de una estructura y a partir del análisis de sus resultados, se puede realizar una reubicación conveniente de equipos para evitar los efectos adversos que puedan presentarse sobre estos por campos generados por rayos, sobre lo cual no existe orientación en la normatividad vigente.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar, los más sinceros agradecimientos al profesor Germán Moreno por su valiosa ayuda en este trabajo y a los ingenieros Héctor David Gómez y Esteban Velilla por sus aportes realizados en etapas previas a este proyecto.

## REFERENCIAS

Ala, G. y M.L. Di Silvestre; *A Simulation Model for Electromagnetic Transients in Lightning Protection Systems*, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility: 44 (4), 539-554 (2002).

Gómez, H.D.; E. Velilla, G. Moreno y J. Valencia; *Respuesta transitoria de las puestas a tierra en la protección contra rayos. Software GTIERRAS*, Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia: No 36, 7-20 (2006).

IEC; 62305-1, *Protection of Structures Against Lightning*, Part 1: General Principles (2004).

IEC; 62305 - 2 *Risk Management* , Part 2 (2004).

IEC; 62305 - 3 *Physical Damage and Life Hazard*. Part 3 (2004).

IEC; 62305 - 4 *Electrical and Electronic Systems within Structures*, Part 4 (2004).

Moreno G., J. Valencia, C. Cárdenas y W. Villa; *Fundamentos e Ingeniería de las Puestas a Tierra. Respuestas ante fallas eléctricas y rayos*. 160-170. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín (2007).

Orlandi A., G.B. Lo Piparo y C. Mazzetti; *Analytical Expressions for Current Share in Lightning Protection Systems*, European Trans. on Electrical Power Engineering: 5, 107-114 (1995).

Orlandi, A.; C. Mazzetti, Z. Flisowski y M. Yarmarkin; *Systematic Approach for the Analysis of the Electromagnetic Environment Inside a Building During Lightning Strike*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility: 40 (4), 521-34 (1998).

Sartori C.A.F. y J.R. Cardoso; *Evaluation of electromagnetic environment around a structure during a lightning stroke*, in Proc. EMC Int. Symp pp. 246–251, Electromagnetic Compatibility. Rome, Italy, September (1994).

Sartori, C.A.F. y J. R. Cardoso, *EMC Aspects in a Steel Structure Struck by Lightning*, International Symposium on EMC, pp. 248-252, Atlanta - GA, USA. Proceedings, August, (1995).

Sartori, C.A.F., J.R. Cardoso, y A. Orlandi; *Transient Induced Voltage Computation in a High Building Struck by Lightning*, IEEE Transactions on Magnetics: 34(5), 2815-18 (1998).

Sartori, Carlos Antônio França; *Aspectos de compatibilidade eletromagnética em estruturas atingidas por descargas atmosféricas*, Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil (1999).

Sartori C.A.F. y A. Orlandi; *Optimization of the LPS Configuration for Minimization of the Radiated Electromagnetic Field*, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility: 2, 827-832 August, (2000).

Sartori C.A.F. y otros cuatro autores; *Constrained Decision Planning Applied to Field Profile Optimization in LPS of Structures Directly Struck by Lightning*, IEEE Transactions on Magnetics: 38(2),757-760 (2002).

Smolke M. y Engelmann E.; *Analysis and Simulation of the Magnetic field in Lightning Current-Carrying Structures*, 9th ISH, Ninth International Symposium on High Voltage Engineering. Volume 8, 8345-1 – 8345-4, Graz, Austria, August 28-September 1 (1995).

Stratton, J.A.; *Electromagnetic Theory*, 230-233. Ed. McGraw-Hill, New York (1941).

Visacro, S. y A. Jr. Soares; *HEM: A Model for Simulation of Lightning-Related Engineering*, IEEE Trans. on Power Delivery: 20(2), 1206-1208 (2005).

Visacro, S.F.; *Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia*, 17-62. Editorial Artliber, São Paulo (2005).

Xueling Y. y otros tres autores; *The experimental Study of Pulsed Current Magnetic Fields inhuman Cells*, .8th International Conference on Properties and applications of Dielectric Materials, Volume 1 562-565, ,Bali, Indonesia, June 26-30 (2006).