



ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO APLICADAS A LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

C. A. Wall*

P. L. Arnera*

M. B. Barbieri*

*** IITREE-LAT-FI-UNLP**

RESUMEN

Las Líneas Aéreas cumplen un rol fundamental en el proceso de transmisión de energía eléctrica, asociada a esta se encuentran los campos eléctrico y magnético. Estos últimos han despertado gran inquietud en la población debido a su posible vinculación a efectos sobre la salud de los seres humanos, debido a esto, en algunas circunstancias resulta necesario reducir los niveles de campo magnético en la medida que sea posible, para lo cual existen diferentes soluciones que pueden aplicarse de acuerdo a cada caso en particular.

En el presente trabajo se exponen diferentes estrategias que se emplean para mitigar Campo Magnético en Líneas Aéreas de Alta Tensión. Se aplican a diferentes configuraciones utilizadas en la República Argentina.

Se estudia el empleo de lazos pasivos y el manejo de los conductores de fase, para este último caso se consideran distintas alternativas de agrupamiento.

Se comparan los diferentes resultados obtenidos en cada caso, destacando las soluciones más efectivas para cada caso analizado.

Las herramientas utilizadas para los cálculos se validan, a través de mediciones realizadas en líneas que se encuentran actualmente en operación.

PALABRAS-CLAVE

Líneas Aéreas, Campo Magnético de FEB, Mitigación, Lazos Pasivos.

1. INTRODUCCIÓN

Los campos magnéticos de frecuencia industrial despiertan inquietud y preocupación en la población, debido a asociaciones a posibles efectos sobre la salud en los humanos. Desde finales de la década del 70 se han publicado un gran número de trabajos vinculados a esta temática, se han realizado grandes esfuerzos a nivel internacional con el objetivo de encontrar si existe algún efecto negativo en la salud de los seres humanos ocasionados por los campos magnéticos, existen además instituciones o grupos de estudio integrados por especialistas del más alto nivel que analizan los diferentes estudios realizados y elaboran recomendaciones. En tal sentido pueden mencionarse a la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), la OMS (Organización Mundial de la Salud) y la IARC (International Agency for Research Cancer). Muchos países a su vez, a través de Leyes, Resoluciones u otro tipo de acto adoptan las recomendaciones realizadas por los organismos antes mencionados o adoptan límites diferentes a los recomendados internacionalmente, adoptando diferentes criterios.

En la República Argentina la normativa vigente fue publicada en el año 1998 como Resolución SE 77/98 [1]. El valor límite campo de inducción magnética, contemplando la exposición del público en general, es de 25 μT , medido a 1m del nivel del suelo, en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y borde perimetral de estaciones transformadoras. La normativa Argentina también hace referencia a que los diseños de las instalaciones tienen que considerar valores para el campo tan bajos como sea razonablemente alcanzables, considerando esto existen algunas técnicas que permiten obtener menores valores de campo magnético y que no requieren grandes cambios en las estructuras, como ser la optimización en la distribución de fase en líneas con más de un circuito por estructura. Otra alternativa es la utilización de lazos pasivos, la utilización de estos no alcanza a cualquier configuración de líneas, por lo que se considerará la utilización de los mismos en aquellos casos en que sean aplicables.

2. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN CONSIDERADAS

A continuación se describe algunas consideraciones sobre las diferentes técnicas de mitigación consideradas en este artículo, se describen en primer lugar algunas características del manejo de las fases de los conductores y en segundo lugar lo que corresponde a la utilización de lazos pasivos.

2.1 Manejo de fases

Esta técnica de mitigación de campo magnético es aplicable a circuitos que cuentan con más de una terna, básicamente consiste en cambiar la posición relativa de las mismas fases para circuitos diferentes [2]. En la Figura 1 se presenta un ejemplo para una doble terna, configuración vertical, en donde se modificó la posición inicial de dos fases en una de las ternas, R2 y T2, este tipo de arreglo es conocido también como cancelación de fases.

Si se tienen más circuitos, puede estudiarse cual será la configuración óptima que arroje los valores más bajos de campo magnético en la zona de interés.

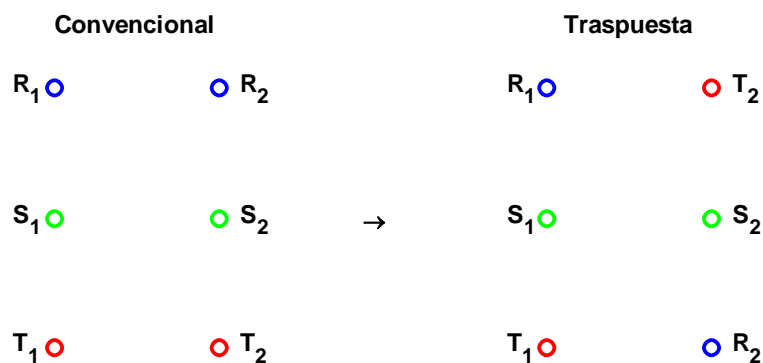
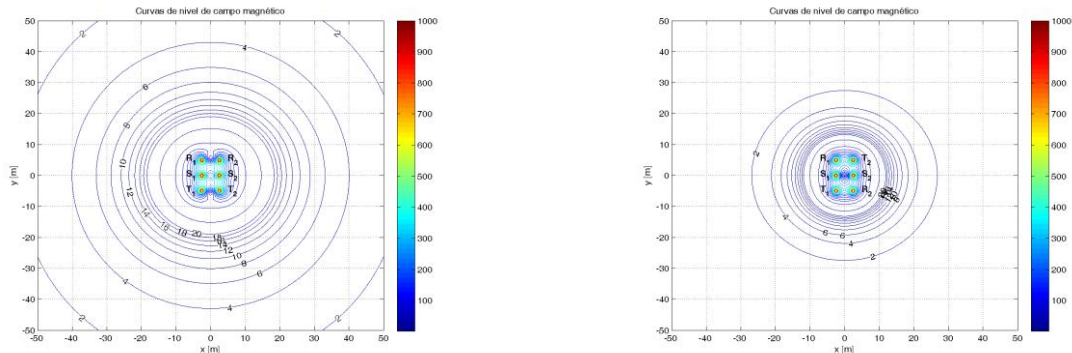


Figura 1 – Ejemplo de trasposición, para doble terna.

Los valores de campo magnético que se obtienen para las configuraciones antes mencionadas se presentan en la Figura 2, considerando una corriente de 2000 A. Los valores presentados consideran corrientes balanceadas, pero para el caso de la existencia de desbalances la configuración con las fases traspuestas también arroja mejores resultados.



a) Configuración convencional

b) Configuración traspuesta

Figura 2 – Valores de campo magnético [μT], para doble terna $I=2000\text{A}$.

2.2 Utilización de lazos pasivos

La compensación por medio de lazos pasivos [3] consiste en disponer un conductor en forma de espira o lazo, en una posición tal que se induzca una tensión, como consecuencia del concatenamiento del flujo de campo magnético, generado por los conductores de fase de una línea de transmisión. Como resultado de esta tensión inducida y considerando la impedancia del lazo, se produce una circulación de corriente en dicho lazo.

Esta corriente crea un campo magnético “ B_i ” que se opone al campo generado por los conductores de fase de la línea, “ B_r ”. Esta situación puede apreciarse en la Figura 3, en donde se aprecia además una zona de interés, que es en este caso la zona en donde se requiere una disminución en los niveles de campo magnético.

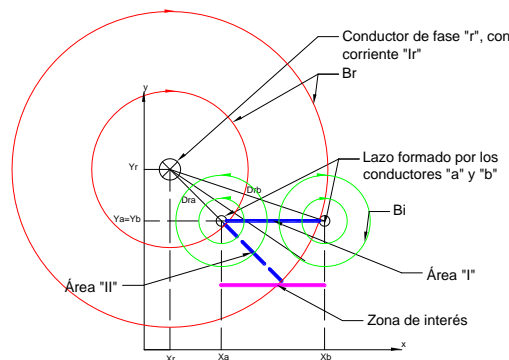


Figura 3 – Campo Magnético “ B_r ” generado por un conductor “ r ”, que concatena a un lazo pasivo “ a - b ”, que genera un campo magnético “ B_i ”.

2.3 Factor de apantallamiento (FA)

Para evaluar el impacto que tiene cada una de las alternativas de mitigación presentadas se utiliza el Factor de Apantallamiento FA, que se define de acuerdo a la Ec. 1. Este factor permite comparar las diferentes alternativas, tomando un caso como referencia, que se considera aquí aquel que arroja el mayor nivel de campo.

$$FA = \frac{B}{B_0}$$

Ec. 1

donde:

B : es el valor (rms) del campo magnético con la utilización de mitigación.

B_0 : es el valor (rms) del campo magnético sin la utilización de mitigación.

3. CASOS PROPUESTOS

A continuación se presentan algunos casos de líneas aéreas de alta tensión existentes en la República Argentina, considerando los niveles de 220 y 500 kV. En general las líneas de 220 kV poseen dos circuitos por estructura, mientras que las de 500 kV en general poseen una sola terna por estructura. En la Tabla I se presentan los diferentes casos analizados, se pueden identificar, tensión de la línea, configuración y tipo de aisladores utilizados y secuencia de energización.

Tabla I – Casos considerados

Caso	Ternas	Tensión [kV]	Configuración	Aisladores	Secuencia de Energización
1 a	2	220	Coplanar Horizontal	Suspensión	RSTRST
1 b					RSTTRS
2 a	2	220	Coplanar Vertical	Suspensión	RSTRST
2 b					RSTTRS
3 a	2	220	Coplanar Vertical	Line-Post	RSTRST
3 b					RSTTRS
4 a	1	500	Coplanar Horizontal	Suspensión	RST
4 b					RST (con LP)
5 a	1	500	Triangular	Suspensión	RST
5 b					RST (con LP)

3.1 LAAT 220 kV

Las LAAT de 220 kV típicas utilizadas en Argentina y consideradas en este trabajo se presentan en la Figura 4, en donde se aprecian tres tipos constructivos de líneas con dos ternas cada una.



a) Caso 1



b) Caso 2



c) Caso 3

Figura 4 – LAAT 220 kV, doble terna.

3.2 LAAT 500 kV

Las LAAT de 500 kV típicas utilizadas en Argentina y consideradas en este trabajo se presentan en la Figura 5, en donde se aprecian dos tipos constructivos de líneas con una terna cada una. A la izquierda de la imagen se aprecia la estructura tipo Cross-Rope y a la derecha la torre V-Arriostrada.



Figura 5 – Casos 4 y 5

4. VALORES DE CAMPO MAGNÉTICO Y ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

A continuación se presentan los valores de campo magnético de las instalaciones consideradas, en primer lugar se presentan resultados en donde se comparan valores medidos de instalaciones existentes y valores obtenidos por medio de cálculos, se consideró la altura del conductor en el punto de medición y la carga al momento de la medición. Luego se presentan cálculos considerando la secuencia de energización existente para las líneas para una carga dada y los valores obtenidos para las alternativas de mitigación consideradas. La altura de medición y cálculo del campo magnético fue de 1 m sobre el nivel del suelo para todos los casos.

4.1 LAAT 220 kV – Trasposición de fases

En primer lugar se presentan los cálculos y mediciones realizadas para la línea coplanar horizontal, luego se considera una línea coplanar vertical y por último se considera el mismo caso pero para una línea compacta con aisladores tipo Line-Post.

En las Figuras 6 a 9 se aprecian los resultados obtenidos para cada Caso, en a) se comparan los valores calculados con mediciones, considerando altura de los conductores y carga al momento de la medición, en b) se presentan los resultados obtenidos para dos alternativas de energización de la línea y en c) el FA correspondiente, tomando como referencia la secuencia de energización que arroja mayores valores de campo magnético.

Para los Casos 1 a 3 se considero como valore de referencia una corriente de 1055 A y una altura del conductor más próximo al suelo de 10,2 m, para que los casos sean comparables entre sí.

4.1.1 Coplanar horizontal

En la Figura 6 se aprecian los resultados obtenidos para los Casos 1 “a y b”, los resultados presentados en a) corresponden a la altura de medición para los conductores de fase de 13 m y la carga al momento de la medición fue de 200 A. En b) se presentan los resultados obtenidos para dos alternativas de energización de la línea en donde se observa que el “Caso 1” arroja mayores valores de B en la parte exterior del perfil, mientras que en la parte central se aprecian menores valores de campo, en c) se presenta el FA correspondiente, en donde se pone en evidencia la situación descrita previamente, en la zona central se obtiene una atenuación del orden del 60 % y en los extremos incrementos del orden del 110 %.

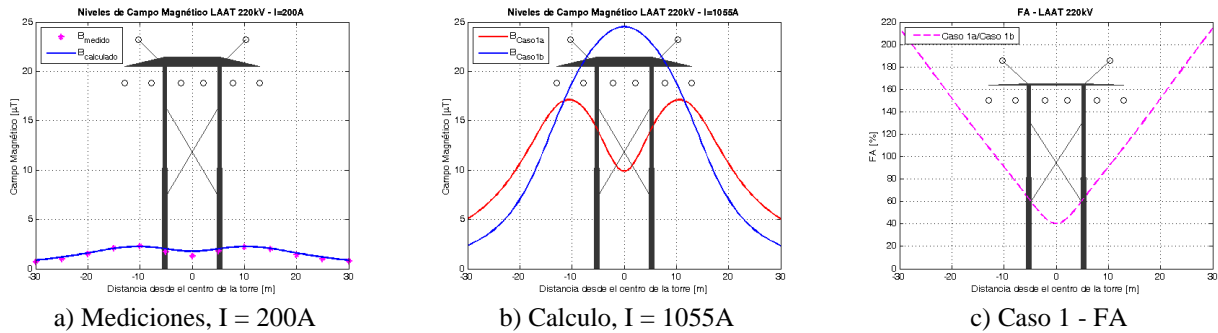


Figura 6 – LAAT 2 x 220 kV – Caso - 1.

4.1.2 Coplanar vertical suspensión

En la Figura 7 se aprecian los resultados obtenidos para los “Casos 2 a y b”, los resultados presentados en a) corresponden a la altura de medición para los conductores de fase de 8 m y la carga al momento de la medición fue de 750 A. En b) se presentan los resultados obtenidos para dos alternativas de energización de la línea en donde se observa que el “Caso 2” a arroja mayores valores de B a lo largo de todo el perfil, en c) se presenta el FA correspondiente, en la zona central se obtienen los mayores valores de atenuación con valores de alrededor del 40 % y en los extremos del orden del 75 %.

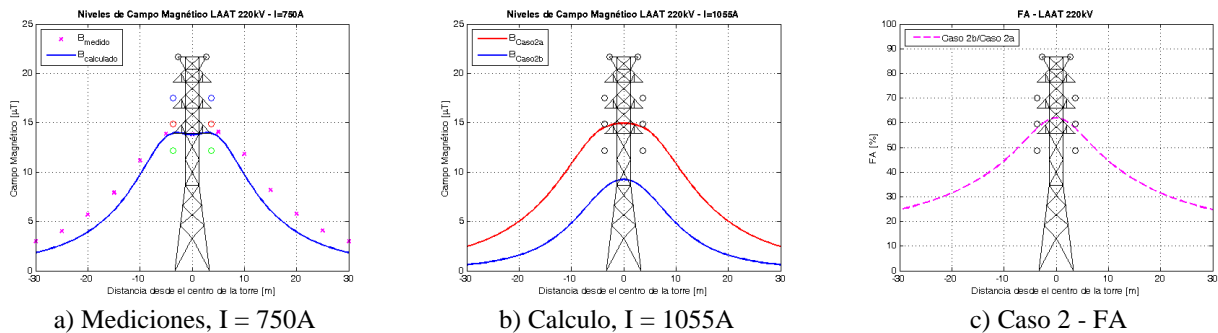


Figura 7 – LAAT 2 x 220 kV – Caso - 2.

4.1.3 Coplanar vertical Line-Post

En la Figura 8 se aprecian los resultados obtenidos para los “Casos 3 a y b”, los resultados presentados en a) corresponden a la altura de medición para los conductores de fase de 11 m y la carga al momento de la medición fue de 650 A. En b) se presentan los resultados obtenidos para dos alternativas de energización de la línea en donde se observa que el “Caso 3” a arroja mayores valores de B a lo largo de todo el perfil, en c) se presenta el FA correspondiente, en la zona central se obtienen los mayores valores de atenuación con valores de alrededor del 45 % y en los extremos del orden del 80 %.

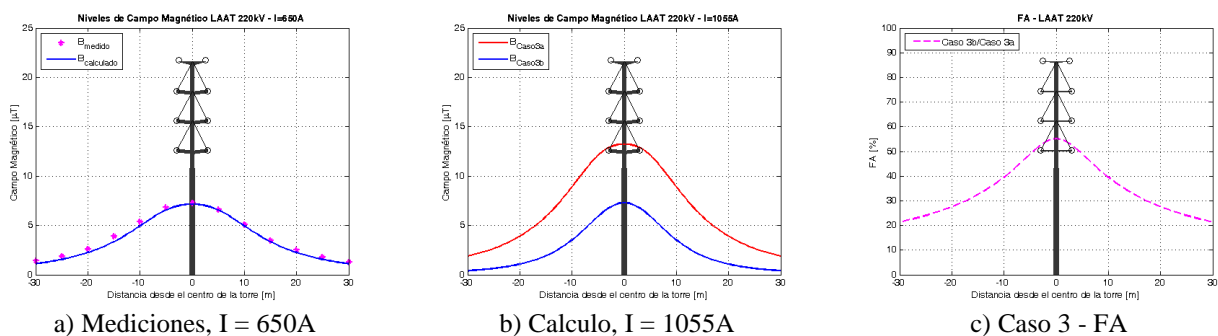


Figura 7 – LAAT 2 x 220 kV – Caso 3.

4.2 LAAT 500 kV

Para las LAAT de 500 kV consideradas se consideraron en todos los casos simple terna, la alternativa de utilización de lazos pasivos fue evaluada en todos los casos considerando para el lazo un conductor con una sección de 394 mm² (0,131 Ω/km), la longitud de lazo se considero de 400 m y el ancho fue igual a la distancia entre los conductores externos.

Para los casos con la utilización de lazos pasivos se considero que los mismos se dispucieran a la distancia mínima de seguridad para las líneas de 500 kV en la República Argentina.

4.1.1 Torre V - Arriostrada

En la Figura 8 se aprecian los resultados obtenidos para los “Casos 4 a y b”, los resultados presentados en a) corresponden a la altura de medición para los conductores de fase de 18,3 m y la carga al momento de la medición fue de 133 A, en b) se presentan los resultados obtenidos con y sin la utilización de lazos pasivos y en c) se presenta el FA correspondiente, se aprecia que el máximo valor de atenuación obtenido es del orden del 25 %.

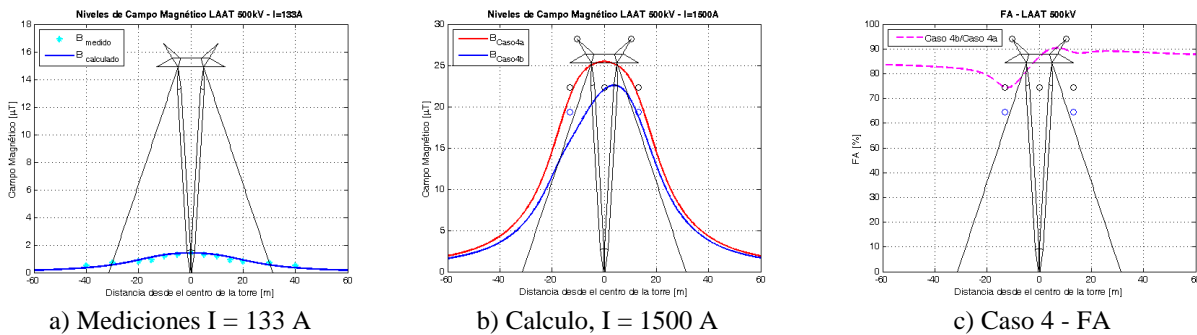


Figura 8 – LAAT 1 x 500 kV – Caso 4.

4.1.1 Cross-Rope

En la Figura 9 se aprecian los resultados obtenidos para los “Casos 5 a y b”, los resultados presentados en a) corresponden a la altura de medición para los conductores de fase de 15,5 m y la carga al momento de la medición fue de 200 A, en b) se presentan los resultados obtenidos con y sin la utilización de lazos pasivos y en c) se presenta el FA correspondiente, se aprecia que el máximo valor de atenuación obtenido es del orden del 20 %.

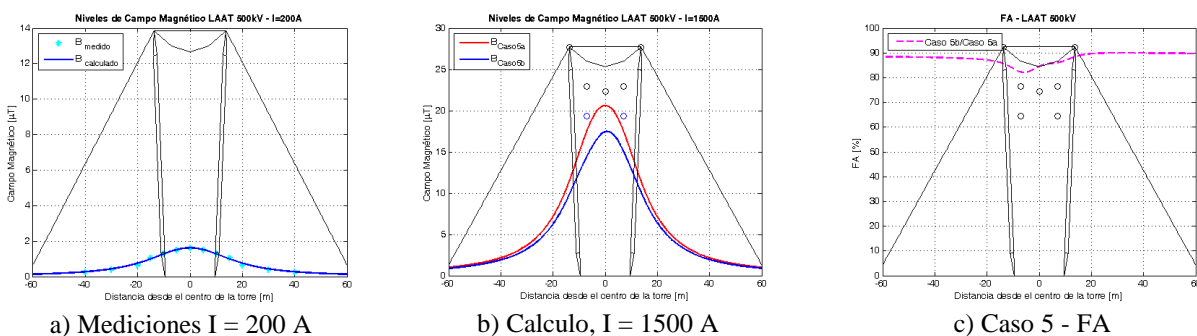


Figura 9 – LAAT 1 x 500 kV - Caso 5.

5. RESULTADOS

Los resultados obteniendo anteriormente se analizan a continuación y se comparan para determinar cuáles son las soluciones que arrojan los mejores resultados. Para la comparación se considera el FA, considerando como referencia el caso existente que arroja mayores valores de campo magnético.

En la Figura 10 se comparan todas las alternativas con la que arroja mayores valores de campo para las líneas de 220 kV analizadas los mayores valores los arroja el “Caso 1 b”, tomando como referencia este caso se calculan los FA para todos los casos considerados.

En la Figura 11 se presenta la misma comparación, realizada para las LAAT de 500 kV, tomando como referencia el “Caso 4 a”.

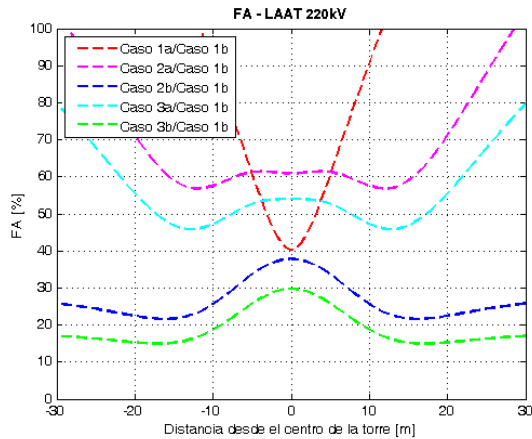


Figura 10 – Comparación del FA LAAT 220 kV.

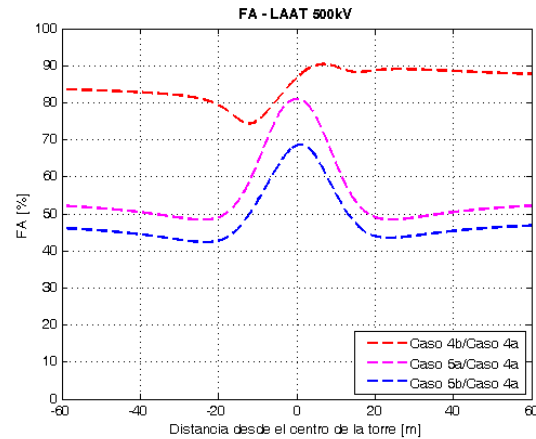


Figura 11 – Comparación del FA LAAT 500 kV.

6. CONCLUSIÓN

Tomando como referencia los resultados obtenidos se puede concluir que para los casos en que se tienen circuitos múltiples, los mejores resultados desde el punto de vista del campo magnético se obtienen en los casos en que las líneas son más compactas, o lo que es lo mismo los conductores de fase se encuentran más próximos entre sí y además la secuencia de energización es compensada o traspuesta.

Por otro lado para los casos de las Líneas de 500 kV simple terna, se aprecia que la línea más compacta, “Caso 5 a”, arroja mejores resultados que el correspondiente al “Caso 4 a”, a su vez si se utiliza un lazo pasivo, considerando la geometría del mismo y el módulo y fase de la corriente del lazo es posible obtener una reducción substancial del campo magnético en una locación específica.

La utilización de lazos pasivos sería aplicable a situaciones en donde sea requerida una reducción local del campo magnético en las cercanías de LAAT existentes. Para líneas nuevas podría considerarse la disposición de los conductores de fases a una mayor altura con respecto al terreno.

Para los casos de circuitos simples en configuración coplanar vertical, la utilización de lazos pasivos no es una alternativa eficiente, ya que todos los conductores de fase se encontrarían equidistantes del lazo, si el mismo estuviera centrado, por lo que la alternativa sería alejar la posición de la línea de la zona de interés.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Resolución SE 77/98, Secretaría de Energía de la Nación (Argentina). Boletín Oficial N° 28.859 1ª Sección.
- [2] Cigré Technical Brochure 373 “Mitigation Techniques of power-frequency magnetic fields originated from electric power systems”. WG C4.204, February 2009.
- [3] “Implementation of a tool for magnetic field mitigation using passive loops”. C. A. Wall, P. L. Arnera, M. B. Barbieri. IEEE T&D LA Sixth IEEE/PES, 3-5 September 2012, Montevideo, Uruguay.