

EMPLEO DE LAZOS PASIVOS PARA MITIGACIÓN CAMPO MAGNÉTICO EN EMPALMES DE CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA TENSIÓN

Carlos A. Wall

Patricia L. Arnera

María B. Barbieri

IITREE-LAT-FI-UNLP

48 y 116. La Plata. Buenos Aires. Argentina

caw@iitree-unlp.org.ar

Palabras Claves:

Campo Magnético (B), Mitigación, Lazos Pasivos.

Introducción,

El crecimiento de los centros urbanos y el aumento de la demanda de energía eléctrica hace que cada vez se requieran más tendidos de cables subterráneos de alta tensión en las ciudades. Asociados a los mismos se encuentran la generación de campos magnéticos, que desde hace varios años han despertado preocupación en la población por la asociación de estos con posibles efectos sobre la salud.

En el tendido de cables se identifican dos zonas, una en donde se realiza el tendido regular de los conductores de fase (Ductos), los cuales se encuentran próximos entre sí, y otras zonas en las que se realizan los empalmes (Fosas), donde las distancias entre las fases son mayores. En estas últimas, los valores de campo magnético son más elevados, debido al incremento de dicha separación.

En algunas circunstancias es necesario disminuir los niveles de campo generados en la zona de empalmes, para lograr dicho objetivo existen diferentes técnicas, como ser el incremento de la distancia a los mismos del punto de interés o la aplicación de técnicas de mitigación más desarrolladas.

Desde el punto de vista técnico económico, los lazos pasivos constituyen una solución efectiva, sus costos no representan valores muy elevados y no se requiere de adiestramiento especial de los operarios para realizar el montaje. Estas ventajas requieren que la determinación de la mejor solución a cada caso en particular sea analizada mediante herramientas adecuadas. Estimando las principales características de la forma más precisa posible, con el objetivo de lograr valores de campo tan bajos como sean razonablemente alcanzables.

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos por cálculos (utilizando herramientas desarrolladas) y mediciones de campo magnético, para validar los modelos de cálculo.

Luego se presenta la aplicación de esta técnica a una instalación que se puede encontrar en la red eléctrica, en este caso en la zona de empalmes de cables subterráneos. Se estudian los niveles generados y se evalúa el efecto de introducir lazos pasivos con diferentes configuraciones.

Lasos Pasivos

La compensación por medio de lazos pasivos 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 establece una corriente en dicho lazo [1].

Esta corriente crea un campo magnético "Bi" que se opone al campo generado por los conductores de fase de la línea "Br". Esta situación puede apreciarse en un corte en la Fig. 1, en donde se representa un conductor por el que circula una corriente "Ir" y los conductores "a y b", pertenecientes a un lazo pasivo. Además se presenta una zona de interés.

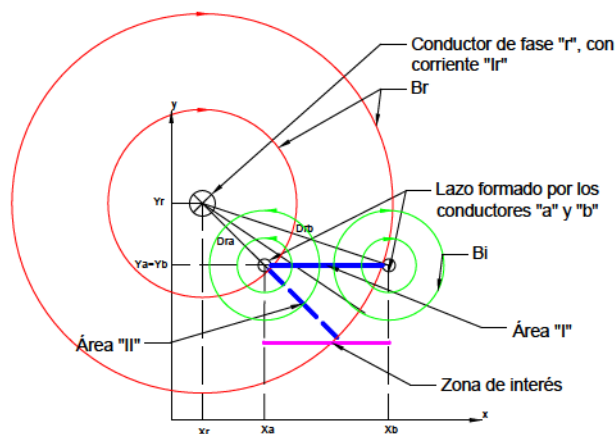


Fig. 1 – Campo Magnético “Br” generado por un conductor “r”, que concatena a un lazo pasivo “a-b”, que genera un campo magnético “Bi”.

El proceso hasta aquí descrito puede aplicarse para un sistema trifásico como el de la Fig. 2, en donde se aprecian en un mismo plano los tres conductores de fase y un lazo pasivo.

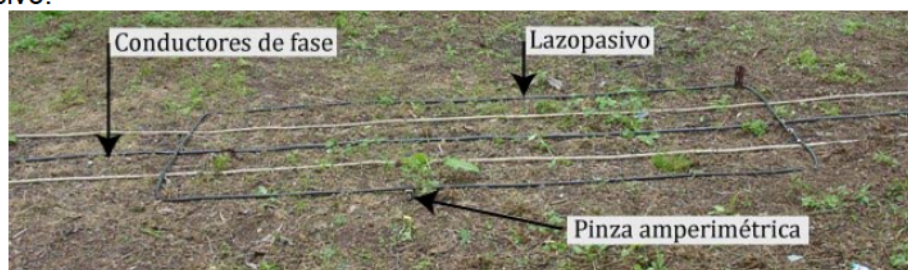


Fig. 2 – Arreglo de sistema trifásico con un lazo pasivo.

En un sistema como el de la Fig. 2, es posible disponer más de un lazo pasivo, esto provocará una mayor atenuación del campo magnético en la zona de interés.

Si se considera la impedancia del lazo, es posible dividirla en la parte resistiva, que depende de las características del conductor utilizado y a medida que el conductor presente una menor resistencia se obtienen mejores resultados, mayor será la corriente por el mismo. Por otro lado la parte inductiva depende de características geométricas, como se dispone el lazo, la separación existente entre conductores de fase y el o los lazos, el ancho y largo de los lazos. Adicionalmente, si se disponen más de un lazo se debe considerar la impedancia mutua entre los diferentes lazos.

Los parámetros mencionados influyen en la efectividad de los lazos pasivos como estrategia de mitigación de campo magnético.

Comparación entre cálculos y mediciones

Se implementaron instalaciones en laboratorio para comparar los resultados obtenidos por medio de cálculo y mediciones. Se utilizaron lazos con conductores de diferentes secciones y diferente número de lazos. Para la medición de campo magnético se utilizó un medidor tridimensional.

En la Fig. 3 se presenta un corte en donde se aprecian los conductores de fase y el ancho del lazo pasivo, uno en este caso.

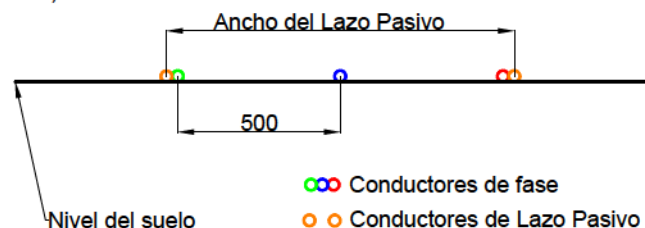


Fig. 3 – Arreglo de sistema trifásico con un lazo pasivo.

En la Tabla I se proponen algunas alternativas, que contemplan diferentes números de lazos, diferentes secciones de conductores y diferentes anchos y largos de lazos.

Tabla I - Geometrías empleadas para las pruebas, en campo.

Caso	Conductor		Lazo	
	Sección	Radio	Configuración	
	[mm ²]	[mm]	Ancho	Largo
1	95	6,5	1	4,25
2	95	6,5	1	4,25
	95	6,5	1,4	4,2
3	95	6,5	1	4,25
	95	6,5	1,4	4,35
	70	5,25	1,8	12,4
4	95	6,5	1	4,25
	95	6,5	1,4	4,35
	70	5,25	1,8	12,4
	70	5,25	2,2	13,5

Los resultados obtenidos se presentan en las Fig. 4 a Fig. 7 para los casos de la Tabla I. Se incluyen los perfiles de B sin energizar la instalación (Azul) y sin LP (Rojo). La corriente por los conductores de fase fue de 14,7 A. Se incluyen valores medidos (M) y calculados (C). Los cálculos culos se realizan con herramientas desarrolladas especialmente para estas aplicaciones [2].

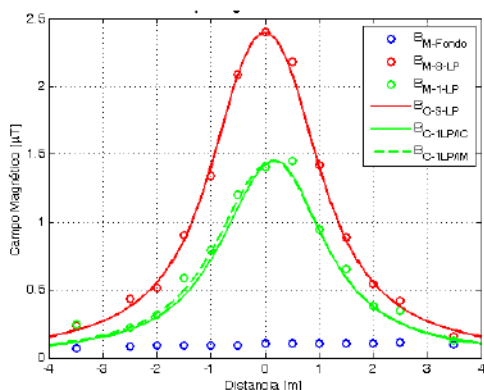


Fig. 4 – Perfiles obtenidos para el “Caso 1”.

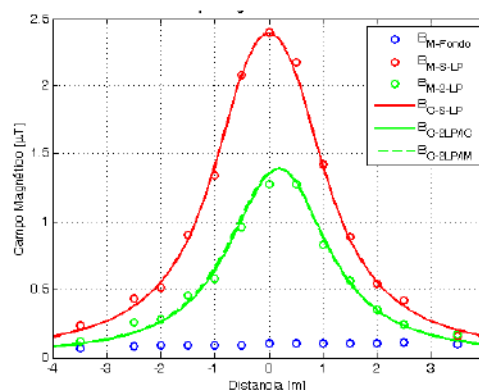


Fig. 5 – Perfiles obtenidos para el “Caso 2”.

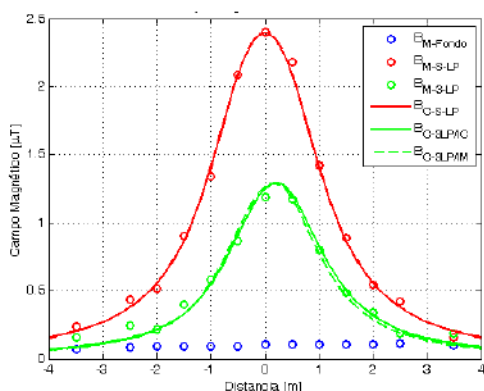


Fig. 6 – Perfiles obtenidos para el “Caso 3”.

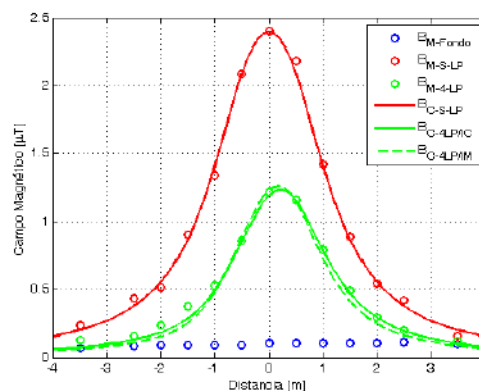


Fig. 7 – Perfiles obtenidos para el “Caso 4”.

Comparando los resultados obtenidos por medio de cálculos y mediciones, se concluye que la herramienta de cálculo arroja buenos resultados. Por lo que se

utilizará para la evaluación de la implementación de lazo pasivo a instalaciones de la red eléctrica.

Aplicación

Para la aplicación de esta técnica en la reducción de campo magnético en empalmes de cables subterráneos, se presentan a continuación las principales características de una instalación y los valores de campo magnético generados.

En la Fig. 8 se presenta un corte transversal de la configuración de conductores en la zona de ductos (a), un corte transversal en la zona de empalmes (b) y una imagen de la fosa de empalmes (c), para una terna en 220 kV.

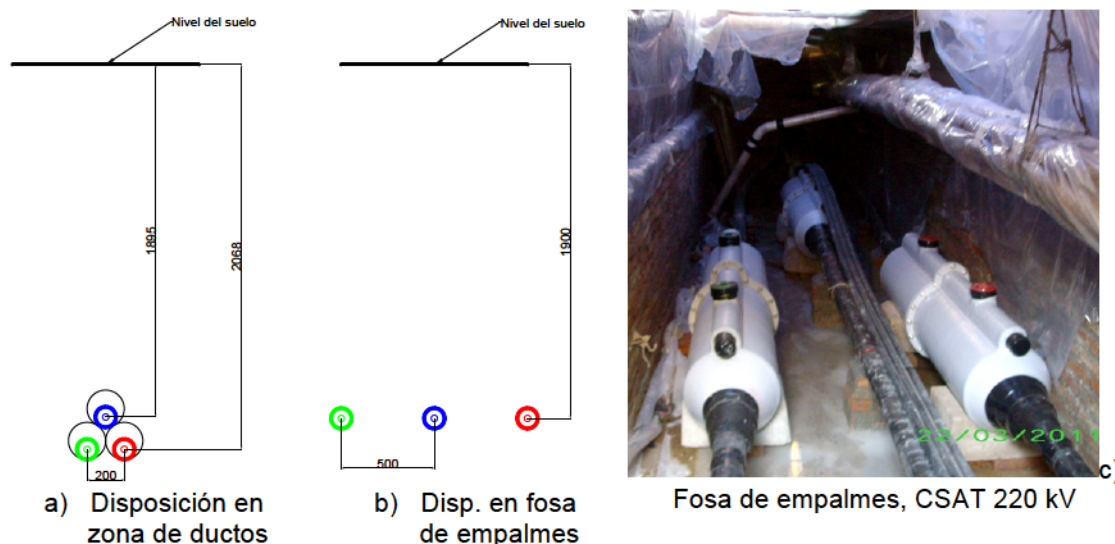


Fig. 8 – Cortes transversal de un tendido de cables e imagen de una fosa de empalmes.

En la Fig. 9 se presentan los valores campo magnético, obtenidos mediante cálculos realizados a partir de un modelo tridimensional, en el que se representaron todos los conductores involucrados, considerando las posiciones adoptadas por estos en zona de ductos y zona de empalmes. Los valores corresponden a una corriente de 790 A. Del análisis de la Fig. 9, se pueden identificar dos zonas, la de ductos en donde los valores de campo magnético máximo en la zona central es de aproximadamente $4 \mu\text{T}$ y la zona de empalmes en donde los valores de campo son de aproximadamente $16 \mu\text{T}$. Esto se aprecia con más detalles en la Fig. 10, allí se grafican perfiles transversales de campo magnético sobre la zona de ductos (rojo) y sobre la zona de empalmes (celeste). Se agregan perfiles para una corriente de 1000 A, para dichas zonas, en verde y violeta respectivamente.

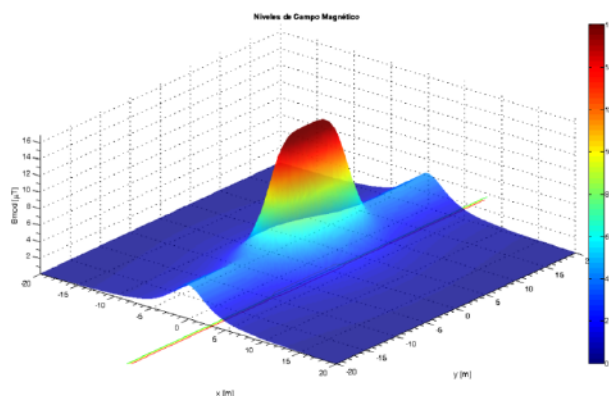


Fig. 9 – Campo magnético generado por CSAT 220 kV, en zona de ductos y fosa de empalmes, $I=790 \text{ A}$.

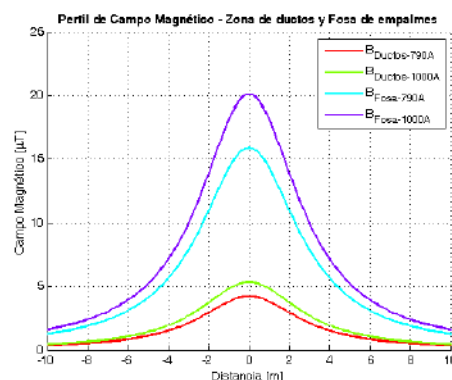


Fig. 10 – Perfiles de campo magnético generado por CSAT 220 kV, en zona de ductos y fosa de empalmes.

Se destaca el aumento de los valores de campo sobre la fosa de empalmes, debido al incremento en la distancia entre los conductores de fase. Si se desea reducir los niveles de campo magnético en la zona de empalmes a los valores del orden de los obtenidos en la zona de ductos, es posible lograr el objetivo utilizando lazos pasivos. Se analizan dos alternativas.

En la Fig. 11 se presenta la configuración en la que se disponen los lazos en un plano por encima de los conductores de fase (Caso 5), es posible variar en número de lazos y la distancia entre los conductores de fase y el plano que contiene a los lazos. En la misma figura se representa esta situación, en donde se contempla la instalación de 1 a 9 lazos pasivos.

En la Fig. 12 se presenta un esquema con la disposición de lazos pasivos en planos por encima y por debajo de los conductores de fase (Caso 6).

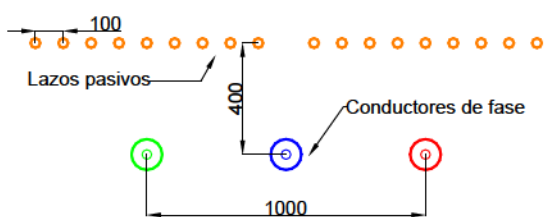


Fig. 11 – Disposición de lazos pasivos en planos por encima de los conductores de fase, Caso 5.

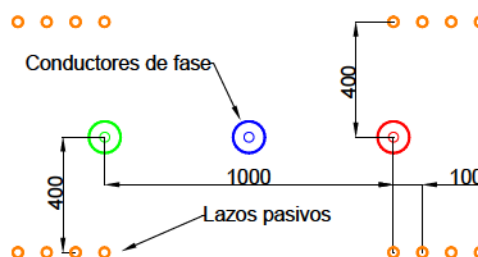


Fig. 12 – Disposición de lazos pasivos en planos por encima y debajo de los conductores de fase, Caso 6.

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en las Fig. 13 y Fig. 14, en donde se aprecian los perfiles de campo magnético, para una corriente de 1000 A. Para el Caso 5 (Fig. 13), se observa que a medida que se incorporan lazos pasivos se reducen los valores de campo magnético. A partir del lazo 7, ya no se observan variaciones significativas. Para el Caso 6 (Fig. 14) se presentan los resultados considerando 2, 4, 6 y 8 lazos, aquí se observa que con el empleo de 8 lazos pasivos en esta configuración se obtienen valores de B menor a 5 μT.

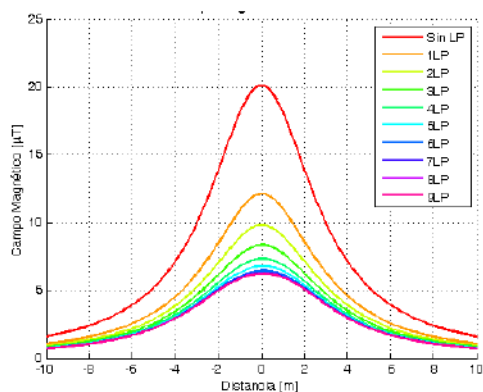


Fig. 13 – Perfiles de CM, Caso 5.

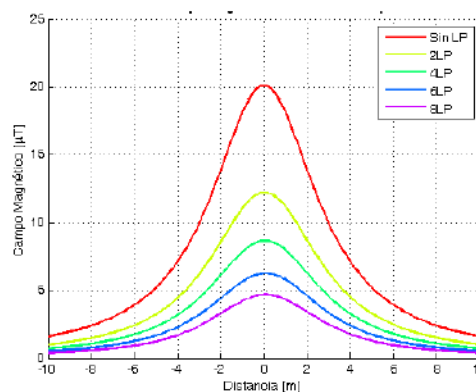


Fig. 14 – Perfiles de CM, Caso 6

Evaluación de Resultados

La efectividad de las alternativas de mitigación puede ser evaluada por el grado de reducción de campo magnético en un punto o área de interés. Esto se logra con la relación entre el campo magnético sin mitigación y con mitigación.

Para cuantificar el grado de reducción de B y comparar entre las diferentes alternativas, se utiliza el Factor de Apantallamiento (FA), que se define en (1).

$$FA = \frac{B_0(P)}{B_S(P)} \tag{1}$$

FA es la relación entre la densidad de flujo magnético en un punto dado (P) en ausencia (B_0) y en presencia (B_S) de mitigación [3].

En las Fig. 15 y Fig. 16 se presentan los perfiles de FA obtenidos para la zona en donde se realizan los empalmes. Para todos los cálculos se considera como flujo magnético en ausencia de mitigación (Sin LP).

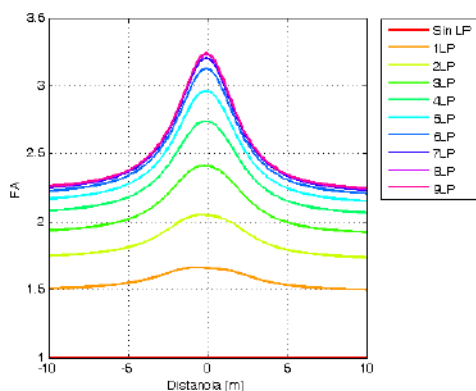


Fig. 15 – Perfiles de FA, Caso 5

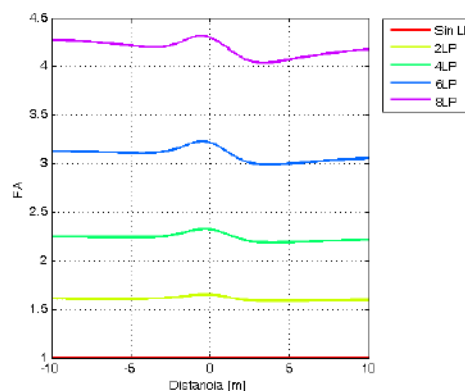


Fig. 16 – Perfiles de FA, Caso 6

Para el Caso 5 el valor máximo de FA es de 3,25 en la zona de campo máximo, $x=0$, con 7 o más lazos, no se logran mayores beneficios con la incorporación de más LP.

Para el Caso 6, es posible obtener un nivel de atenuación similar, con el empleo de 6 LP, empleando 8 LP en FA es del orden de 4,25 en la misma zona.

Conclusiones

La utilización de Lazos Pasivos para mitigar el campo magnético es una técnica con la que se obtienen buenos resultados. En el caso propuesto como ejemplo el objetivo fue reducir los valores de campo en la zona de empalme (Fosas) a los valores obtenidos en la zona de ductos, es significa obtener un FA del orden de 4.

Con la alternativa presentado como Caso 5, utilizando 7 o más lazos se logra un factor de reducción de del orden de 3,25 en $x=0$, pero su instalación es relativamente sencilla, ya que puede aplicarse en la parte superior de los empalmes, una vez que estos se encuentren realizados.

La alternativa identificada como Caso 6 presenta mejores resultados, ya que con 8 LP el valore de FA es del orden de 4,25. La desventaja de variante es la dificultad en la instalación, ya que antes de la elaboración de los empalmes deben disponerse lazos en la parte inferior de los mismos. Sería aplicable en los casos en los que los empalmes no van directamente enterrados.

Para los cálculos se utilizaron herramientas desarrolladas previamente, que se validaron por medio de mediciones para diferentes casos.

Se destaca la ventaja de esta técnica ya que con herramientas de cálculo adecuadas, se puede lograr un diseño adecuado.

La instalación de los lazos pasivos no requiere de entrenamiento especial, ya que son lazos cerrados de baja tensión, solo se debe prestar especial atención en el aislamiento del empalme, para evitar el ingreso de humedad.

Bibliografía

- [1] "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.
- [2] "Development of software for magnetic field calculation and mitigation using passive loops". 3rdCigré International Colloquium on Electric and Magnetic Fields at Extremely Low Frequencies (EMF-ELF 2013), 15-16October 2013, Nara, Japan. C. A. Wall, P. L. Arnera, M. B. Barbieri.
- [3] Cigré Technical Brochure 373 "Mitigation Techniques of power-frequency magnetic fields originated from electricpower systems". WG C4.204, February 2009.