

Comité de Estudio C3 – Desempeño Ambiental del Sistema

**EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO Y
MAGNÉTICO EN ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS**

P.E. ISSOURIBEHERE
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

J.C. BARBERO
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

G.A. BARBERA
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

F. ISSOURIBEHERE
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

H.G. MAYER*
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

***Resumen** – En los últimos años, en la República Argentina, en la construcción de obras de redes de Media, Alta y Extra Alta Tensión se han introducido requerimientos para el cumplimiento de normas sobre el Impacto Ambiental Electromagnético. Tales instalaciones comprenden ampliaciones de estaciones transformadoras, tanto en sus dimensiones físicas como en su capacidad eléctrica, repotenciaciones de estaciones transformadoras existentes y construcción de otras nuevas.*

Para el caso de las instalaciones que se encuentran bajo jurisdicción Nacional, se deben cumplir con las exigencias referidas a impacto ambiental que, entre otros puntos, incluyen el cumplimiento de la normativa Argentina en cuanto a niveles de emisión de campos eléctrico y magnético.

Esta publicación es una recopilación estadística de varios años de mediciones realizadas de campos eléctrico y magnético.

En el presente trabajo se analizan los valores reales de Campos Eléctricos y Magnéticos medidos por el IITREE-LAT en las áreas de influencia de Estaciones Transformadoras del sistema Eléctrico Argentino, ubicadas en diferentes zonas de la República Argentina. Los datos utilizados corresponden a determinaciones efectuadas en más de cien (100) instalaciones de Media, Alta y Extra Alta Tensión y se enmarcan en lo dispuesto por la normativa Argentina sobre mediciones ambientales en la vía pública.

El hecho de analizar estos resultados puede contribuir tanto al diseño de futuras instalaciones como a proporcionar argumentos verídicos al momento de realizar un debate público.

Adicionalmente se incorporan al trabajo, comentarios sobre las prácticas habituales en las mediciones de estos parámetros en Estaciones Transformadoras, junto a ejemplos y descripciones breves del equipamiento utilizado y Normas aplicadas.

Palabras clave: Campo Eléctrico – Campo Magnético – Estación Transformadora – Límites – Estudio Estadístico.

1 INTRODUCCIÓN

En instalaciones correspondientes a Estaciones transformadoras de Media Tensión (MT/MT), de Alta Tensión (AT/MT) y de Extra Alta Tensión (EAT/AT) es habitual que se realicen mediciones de campos eléctrico y magnético. Estas mediciones tienen por objeto verificar que los niveles de dichos campos en las adyacencias de las mencionadas instalaciones no superen valores de referencia en las áreas de acceso público. Los valores de referencia tenidos en cuenta para instalaciones bajo la órbita nacional de la República Argentina responden a los fijados por la Resolución 77/98 de la Secretaría de Energía [1], es decir 25 μ T para campo magnético y 3 kV/m para campo eléctrico.

El IITREE-LAT ha realizado mediciones de este tipo incluso mucho tiempo antes de la creación de las regulaciones y recomendaciones nacionales e internacionales.

En este trabajo se exponen algunos de los resultados obtenidos durante campañas de medición realizadas durante la última década y donde se ha hecho un breve análisis estadístico con el fin de comprender lo que ha estado ocurriendo en torno a las Estaciones Transformadoras y permitir evaluar contramedidas y efectuar consideraciones futuras tanto en vistas a la optimización de recursos como a los aspectos que hacen al impacto en la salud y opinión pública.

2 GENERALIDADES

2.1 Reglamentación Argentina

La reglamentación vigente en la República Argentina admite un valor límite máximo para el campo magnético de 25 μT y de 3 kV/m para campo eléctrico, ambos a una distancia de 1 m sobre el nivel del suelo [1]. A su vez, en vistas a la implementación de las mediciones, la Res. ENRE 1724/1998 [2], indica que las mediciones de campo magnético se deben realizar de acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma IEEE 644.1998 [3], mientras que las de campo eléctrico se referirán, además de a la mencionada norma IEEE, a la IEC833 [4].

2.2 Metodología de la medición

Las mediciones realizadas responden a las recomendaciones dadas por las normas antes mencionadas. Los sitios medidos corresponden a puntos representativos correspondientes al perímetro externo y accesible de cada Estación Transformadora. Tanto los valores de campo magnético como eléctrico fueron relevados con sendos sensores ubicados a un metro del suelo [5].

En el caso de las mediciones de campo eléctrico existe una gran susceptibilidad del mismo frente a perturbaciones dadas por objetos próximos al sensor, incluyendo al propio operador del equipo. En este sentido, se recomienda un apartamiento del observador no menor a 2,5 m cuando éste tuviera una altura aproximada de 1,80 m, reduciendo de este modo el efecto de proximidad hasta un valor de aproximadamente entre 1,5% y 3%. De todos modos, queda fuertemente recomendada la experimentación en el lugar de la medición con el objetivo de encontrar las posiciones adecuadas para la minimización del efecto de proximidad (tanto las ocasionadas por el operador del equipo, otro observador o cualquier otro elemento próximo y elevado respecto de la posición relativa del sensor al plano de tierra).

Ante la presencia de un elemento perturbador del campo que no pueda desplazarse del lugar o que deba considerarse como parte de la estructura a medir, se debe tomar nota de su localización y dimensiones a la hora de efectuar la medición correspondiente. Dentro de los objetos perturbadores del campo eléctrico más comunes en mediciones de este tipo se encuentran los árboles y arbustos con más de 1 m de altura, personas estáticas o en movimiento, paredes, torres metálicas o postes de madera, vehículos, etc.

En la normativa se menciona, además, el efecto distorsivo que tiene la elevada humedad ambiente en las mediciones de campo eléctrico, aunque no se profundiza en el tema. Cuando se utilizan soportes para el sensor construidos en materiales porosos y/o higroscópicos (obviamente no conductores) la problemática con la humedad se ve acentuada, y es por ello que, por ejemplo, en el caso de trípodes de madera, ésta deberá estar bien seca. Si estos recaudos no son tomados, la humedad presente se condensará en el soporte del sensor y la madera la absorberá, produciendo una mayor concentración de líneas de campo con lo cual es posible que la lectura del dispositivo medidor redunde en un valor mayor al que corresponde a la condición de no perturbación. Nótese que la humedad absorbida por la madera no será expulsada fácilmente sin recurrir a un secado apropiado y, por lo tanto, otras mediciones realizadas con baja humedad también podrían resultar distorsionadas.

Para el caso de mediciones de campo magnético, éste no es tan susceptible de ser perturbado como en el caso del campo eléctrico, a no ser por efecto de materiales metálicos, ya sean estos conductores eléctricos o no. Por este hecho es que no es necesario tomar, en general, recaudos de posicionamiento del operador del instrumento y pocas veces se necesitará remover un objeto que altere el campo en el sitio de medición (a diferencia de lo que ocurriría con árboles y otro tipo de objetos en el relevamiento de campo eléctrico). En este sentido, tampoco son necesarias las medidas tomadas para el caso de campo eléctrico con respecto a la humedad elevada y la lluvia.

La práctica habitual para la medición de campos eléctricos y magnéticos en Estaciones Transformadoras, consiste en recorrer su perímetro donde el mismo sea adyacente a áreas públicas de tránsito de personas. Es por ello que, luego de observar la situación del lugar y realizar el croquis correspondiente, se efectúan las lecturas de los niveles de campos eléctrico y magnético en las zonas respectivas. En general, resulta conveniente efectuar la separación de las mediciones por “lados” de la Estación Transformadora, a fin de obtener una mayor claridad en la interpretación de los valores finales. Los puntos a medir suelen ser, por ejemplo, sitios equidistantes en donde cada lado a medir será dividido en puntos a distancias regulares que variarán en virtud de los niveles de campo (tanto eléctrico como magnético) pasibles de ser hallados en ese sector, dependiendo ello de la presencia de cables subterráneos, de líneas aéreas u otros elementos generadores de campo o perturbadores del mismo. Otra situación típica es el de sitios no equidistantes en los que los puntos a medir, en este caso, se sitúan a intervalos no regulares debido, por ejemplo, a fuentes de campo agrupadas sobre un sector del lado medido. Por último se puede identificar un tercer caso típico que corresponde a sitios de interés particular en donde, por las características geométricas y eléctricas de la Estación, sólo sean representativos del campo, a lo largo del perímetro de la misma, algunos puntos particulares que serán los efectivamente relevados.

Es práctica habitual colocar el sensor de campo a 1 m de distancia respecto de la pared, alambrado o cualquier límite físico del perímetro de la Estación. De esta forma se intenta obtener una medición de campo adecuadamente representativa en las inmediaciones del mencionado límite.

Durante la medición en campo, se registran variables atmosféricas (presión, temperatura y humedad).

Si bien la frecuencia fundamental de las ondas de tensión y de corriente presentes en las Estaciones Transformadoras es de 50 Hz, es usual tomar las medidas en un rango más amplio del espectro a efectos de incluir también posibles armónicas, las que cada vez tienen más presencia en los sistemas de potencia debido principalmente a la electrónica industrial.

Cabe aclarar que en todos los casos, la lectura del instrumento, se realiza una vez que la misma llegue a un valor estable, mientras el equipo medidor permanece en una posición relativamente fija.

2.3 Equipos de medición utilizados

Los equipos de medición utilizados en todos los casos evaluados en el presente trabajo son del tipo isotrópico, es decir que cuentan con un arreglo de sensores ubicados ortogonalmente de manera de poder obtener los valores de campo eficaces resultantes en cada punto. El sensor de campo magnético cuenta con tres bobinas transductoras mientras que el sensor de campo eléctrico se constituye a partir de tres juegos de placas planas paralelas. Este último sensor fue dispuesto sobre un trípode aislante apropiado y cuenta con una fibra óptica para la comunicación remota con el equipo analizador y, de esta forma mantener inalterable el entorno de medición.

3 RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Resumen de instalaciones medidas

En la Tabla I se consigna un resumen del tipo de instalaciones utilizadas en el presente trabajo. Se pueden observar la cantidad de Estaciones Transformadoras medidas, la provincia donde se encuentran emplazadas y el tipo del que se trata, respecto de los niveles de tensión puestos en juego en cada una de ellas, es decir, Alta Tensión/Media Tensión (AT/MT), Extra Alta Tensión/Alta Tensión (EAT/AT), Media Tensión/Media Tensión (MT/MT). Se excluyen explícitamente las instalaciones correspondientes a centros de transformación de Media Tensión a Baja Tensión (MT/BT). Todas estas instalaciones fueron elegidas al azar dentro de las que fueron medidas durante el período comprendido entre los años 2007 y 2016. No se tuvieron en cuenta aquellos pocos casos particulares que no constituían una operación normal de la instalación, como por ejemplo mediciones de inicio de obra en donde la Estación Transformadora aún no se encontraba operativa o incluso que no se hallaba construida aún edificación alguna.

Como se observa en la tabla existen instalaciones distribuidas dentro de una amplia zona del país.

TABLA I. RESUMEN DE INSTALACIONES MEDIDAS

Cantidad de instalaciones	Provincia	Tipo de Estación Transformadora
13	Buenos Aires	AT/MT
5	CABA	AT/MT
10	Chubut	AT/MT
1	Corrientes	AT/MT
19	Jujuy	AT/MT
1	Mendoza	AT/MT
5	Salta	AT/MT
6	Santa Cruz	AT/MT
3	Buenos Aires	EAT/AT
2	Chaco	EAT/AT
2	Chubut	EAT/AT
2	Formosa	EAT/AT
1	Misiones	EAT/AT
1	Santa Fe	EAT/AT
2	Santiago del Estero	EAT/AT
28	Jujuy	MT/MT

3.2 Resultado de las mediciones de campo eléctrico

A partir de los valores medidos de campo eléctrico (CE) en cada instalación se obtuvieron los respectivos mínimos, medios, máximos y P_{95} (número debajo del cual se encuentran el 95 % de los valores medidos). Con estos valores numéricos fue posible realizar el histograma que se muestra en la Fig. 1 que, de manera simplificada, indica los rangos de campo eléctrico que se presentaron de manera más frecuente en el total de Estaciones Transformadoras consideradas. De la figura se desprende, además, que los valores ubicados en el rango de 0 kV/m a 0,5 kV/m son los más representativos, desde un punto de vista general, ya que engloban a un mayor número de instalaciones. Asimismo, se observa que el gráfico de valores máximos y el de P_{95} indica también valores frecuentes en el rango de 0,5 kV/m a 1 kV/m. Un porcentaje mínimo (2 %) de los valores máximos obtenidos resultó mayor a los 3 kV/m. De la experiencia práctica se entiende que los valores en torno a los 0,01 kV/m, aproximadamente, y superiores no provienen de las Estaciones Transformadoras en sí mismas sino de líneas aéreas que entran, salen o se encuentran en las adyacencias de dichas instalaciones. También se destaca que la dependencia de los valores de campo eléctrico con la configuración geométrica del entorno y con el nivel de tensión hace que estos valores se mantengan prácticamente invariables.

En general, el cerco perimetral de las Estaciones Transformadoras suele ser suficiente para blindar el campo eléctrico proveniente de su interior, ya sea que se trate de alambrado perimetral o un muro, sumado a las distancias a que normalmente se colocan estos respecto de la instalación propiamente dicha.

Histograma de valores de CE min, med, máx y P95

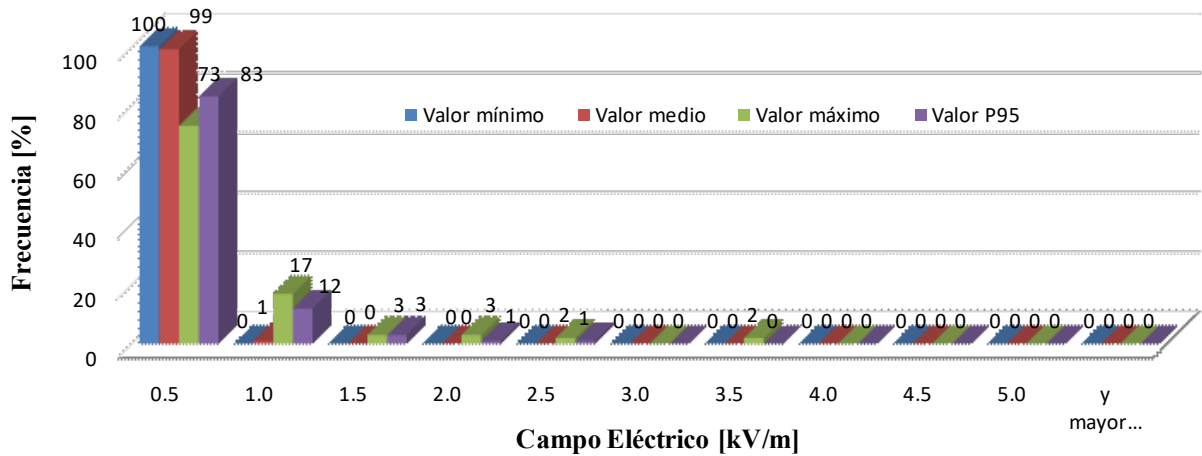


Fig. 1. Histograma de CE – valores mínimos, medios, máximos y P₉₅.

3.3 Resultado de las mediciones de campo magnético

A partir de los valores medidos de campo magnético (CM) en cada instalación se obtuvieron los respectivos mínimos, medios, máximos y P₉₅. Con estos valores numéricos fue posible realizar el histograma que se muestra en la Fig. 2 y que, al igual que en el caso de campo eléctrico, da cuenta del rango de valores que se han encontrado con más frecuencia. De esta forma se observa que los valores de campo magnético más representativos se encuentran en el rango de 0 μ T a 6,25 μ T (menor al límite de 25 μ T). Si bien existe un porcentaje mínimo de valores máximos por encima del rango antes mencionado, resulta interesante destacar a aquellos que superan los 25 μ T y cuyos valores en este caso se encuentran comprendidos en los rangos de 31,25 μ T a 37,5 μ T y de 37,5 μ T a 43,75 μ T.

Histograma de valores de CM min, med, máx y P95

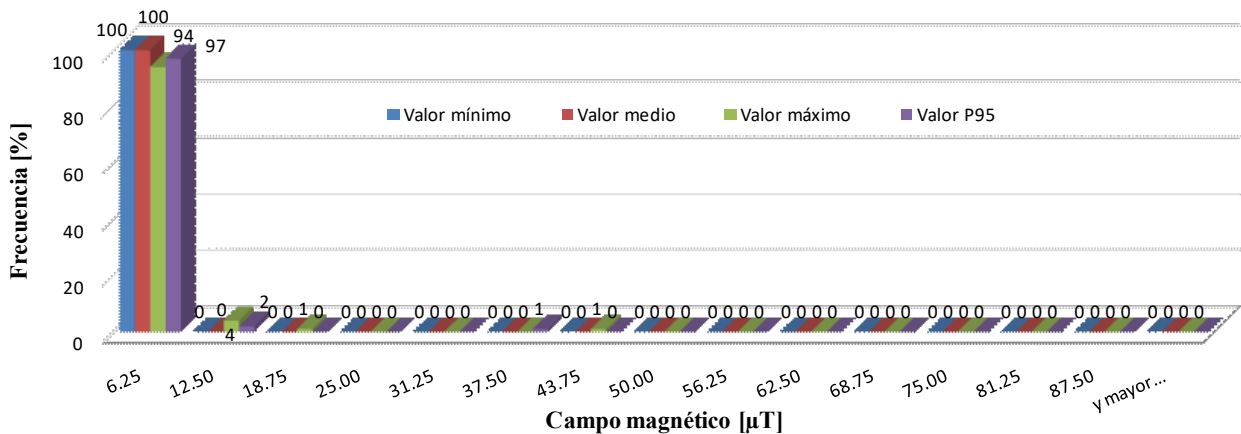


Fig. 2. Histograma de CM – valores mínimos, medios, máximos y P₉₅.

De manera similar a lo planteado para campo eléctrico, se encuentra en la práctica que los valores medidos a partir de alrededor de 1 μ T en adelante son producidos, mayoritariamente, por cables subterráneos que entran, salen o pasan en adyacencias de las Estaciones Transformadoras. También la presencia de líneas aéreas cercanas puede influir en el aumento de los valores del campo magnético medido. Adicionalmente

debe hacerse notar que las líneas y cables de baja tensión pueden ser fuente de campo magnético adicional, situación típica de Estaciones Transformadoras ubicadas en zonas urbanas o suburbanas.

Haciendo uso de la proporcionalidad del campo magnético con la corriente es que, de manera simplificada, se pueden extrapolar los valores medidos, utilizados en el caso anterior, al valor de potencia nominal de las Estaciones Transformadoras, dado que en cada una de ellas se conoce la potencia al momento de realizarse las mediciones. De esta forma se obtuvo un coeficiente que se aplicó directamente a los valores medidos de campo magnético. Estos nuevos valores originan el histograma de la Fig. 3. Como se desprende de la figura y al igual que en el caso de la Fig. 2, los valores más representativos debido a la frecuencia de repetición se encuentran en el rango de 0 μT a 6,25 μT . Sin embargo, se visualizan un buen porcentaje de valores máximos y P₉₅ en el rango de 6,25 μT a 12,5 μT . Adicionalmente, puede observarse un reducido porcentaje de casos en los que el límite establecido de 25 μT es superado holgadamente, lo cual debe ser considerado como un indicador pero no como una representación fiel de una situación real.

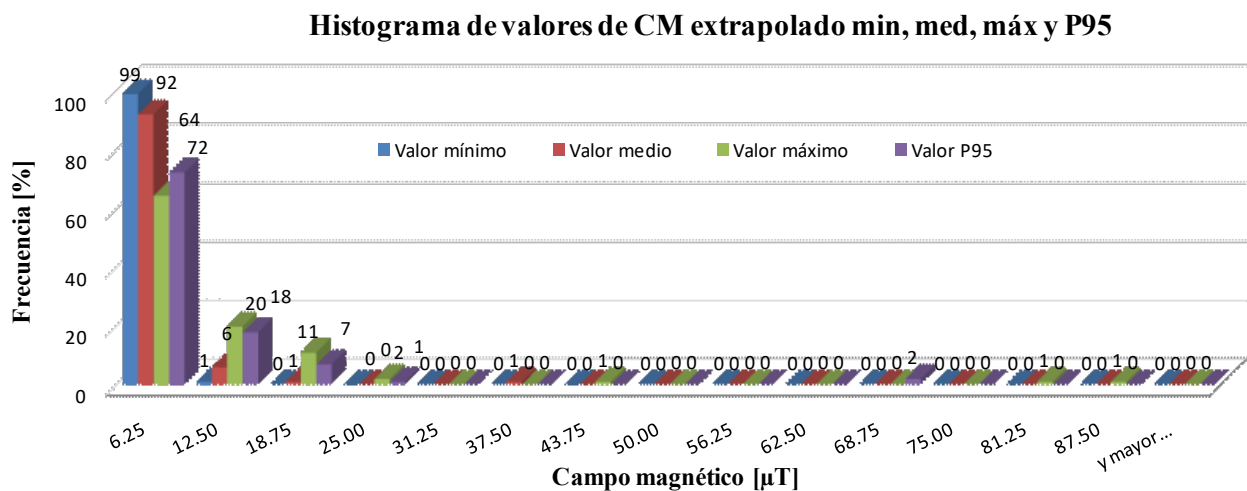


Fig. 3. Histograma de CM – valores extrapolados – mínimos, medios, máximos y P₉₅.

En la Fig. 4 se muestra un nuevo histograma de valores medidos y extrapolados de campo magnético que incluye a la totalidad de puntos medidos en cada una de las Estaciones Transformadoras. De esta manera se puede dar cuenta de los valores esperables de campo magnético en las áreas públicas correspondientes a las adyacencias de las Estaciones Transformadoras. Indudablemente la mayor parte de los valores se encuentran muy por debajo del límite de 25 μT .

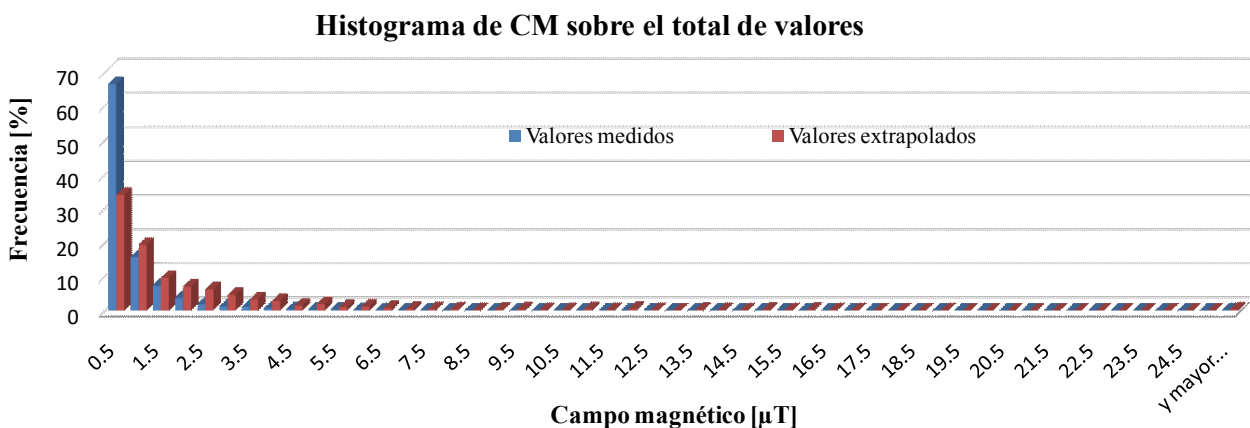


Fig. 4. Histograma de CM – Total de valores medidos y extrapolados encada Estación Transformadora.

Una situación de interés podría ser la planteada en la gráfica de la Fig. 5 donde se muestra un gráfico de campo magnético en el cual se incluyeron todos los valores P₉₅ obtenidos por cada una de la Estaciones

Transformadoras pero ordenados de manera creciente de acuerdo a la fecha en que fueron medidos. De esta manera se observa que, en general, no existe una tendencia en el aumento o disminución de los valores de campo magnético en las adyacencias de las instalaciones analizadas. Sin embargo, se pueden distinguir en la zona derecha del gráfico, correspondiente a años recientes, que existen dos valores de campo magnético extrapolado que sobresalen de los demás y sobrepasan el valor de 25 μT . Si bien estos valores se visualizaron en los casos anteriores vale la pena aclarar que en el primero de los casos los valores altos, tanto de medición como de extrapolación, corresponden a una zona de concentración de cables subterráneos de media tensión sobre la vereda adyacente a la Estación Transformadora pero fuera de ella. El segundo de los casos corresponde a una zona puntual de salida de cables subterráneos de una estación que se encontraba escasamente cargada al momento de las mediciones por lo que la extrapolación al valor de carga nominal de la misma elevó significativamente los valores de campo magnético.

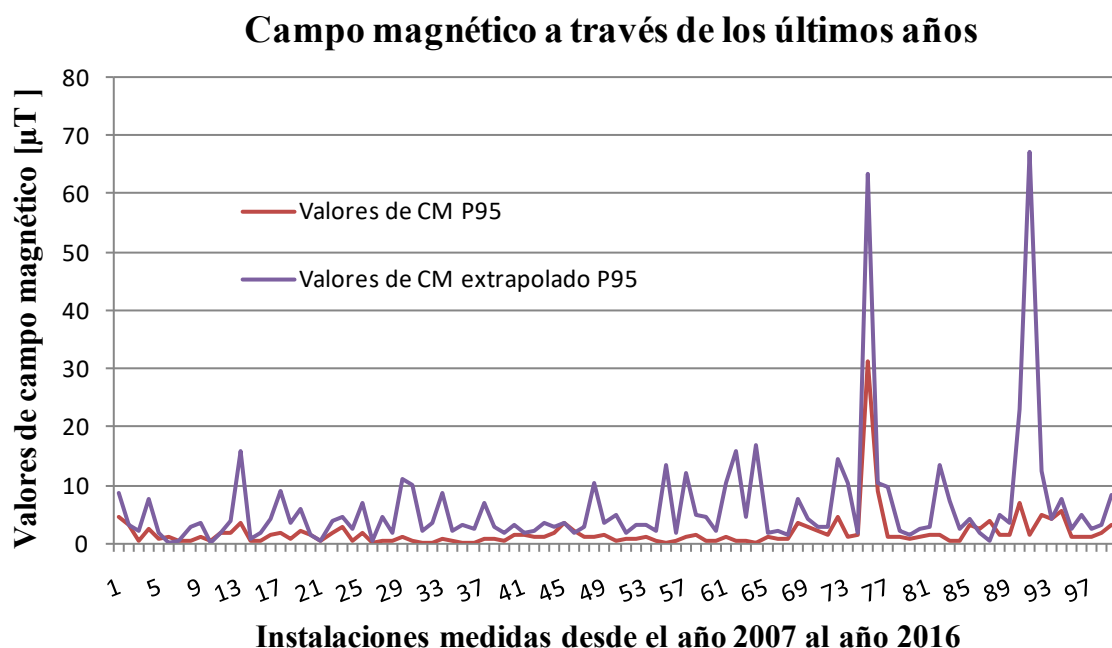


Fig. 5. Gráfico de progresión temporal de campo magnético – valores P₉₅ medidos y extrapolados.

4 CONCLUSIONES

A partir de lo analizado en el presente trabajo es posible inferir que los valores de campo eléctrico provenientes de las Estaciones Transformadoras se mantienen por debajo del límite de 3 kV/m, siendo factible encontrar valores mayores en las cercanías de líneas de Alta y Extra Alta Tensión.

En cuanto a los valores de campo magnético se verifica un alto cumplimiento del límite de 25 μT considerando tanto los valores medidos como los extrapolados a la potencia nominal de las respectivas Estaciones Transformadoras. También se hace notar la incidencia de fuentes ajenas a la Estación Transformadora.

El uso de la extrapolación constituye una herramienta indicativa importante a la hora de observar tendencias en cuanto al cumplimiento del valor límite pero debe ser usada con precaución ya que puede llevar a conclusiones erróneas. También debe considerarse que en la operación real se supone que la mayor parte del tiempo las instalaciones operan por debajo de su condición nominal.

Dado que la forma constructiva de estos tipos de Estaciones Transformadoras, en general, se ha mantenido vigente a través de los años es de esperar que las conclusiones arribadas para el conjunto de instalaciones analizadas puedan ser aplicadas a otras Estaciones Transformadoras. Si bien no se ha analizado en este trabajo, estas conclusiones no son trasladables a centros de transformación de Media Tensión a Baja Tensión (MT/BT) ya que su construcción, cableado, valores de corrientes, desequilibrio de cargas y distancia del perímetro a la instalación son totalmente distintas.

Finalmente y teniendo en cuenta que las instalaciones analizadas fueron separadas según tres tipos (EAT/AT, AT/MT, MT/MT), la Tabla II resume tanto los valores de campo eléctrico como de campo magnético utilizando para ello aquellos valores que resultan de promediar tanto los máximos como los valores P_{95} de cada instalación, para los casos de campo eléctrico, campo magnético y campo magnético extrapolado.

TABLA II. RESUMEN DE CAMPO MAGNÉTICO

Parámetro	Tipo de Estación Transformadora		
	EAT/AT	AT/MT	MT/MT
Promedio de CE max [kV/m]	1,63	0,31	0,16
Promedio de CE P_{95} [kV/m]	0,93	0,22	0,12
Promedio de CM max [μ T]	3,39	2,99	0,54
Promedio de CM P_{95} [μ T]	2,25	2,26	0,43
Promedio de CM extrapolado max [μ T]	6,42	8,46	7,85
Promedio de CM extrapolado P_{95} [μ T]	4,63	6,49	6,38

Esta última tabla contribuye a concluir de manera preliminar que las instalaciones de mayor porte, como por ejemplo las de EAT respecto de las otras dos, no tienen que ser necesariamente asociadas con valores de campo magnéticos mayores, y para el caso particular de campo eléctrico en instalaciones de EAT lo que se ve generalmente reflejado es el campo aportado por las líneas aéreas que acometen a la estación, como ya se comentó anteriormente.

Las instalaciones de mayor porte poseen también un mayor impacto visual y por lo tanto suelen generar mayor controversia en la opinión pública. Por lo tanto es posible que las consideraciones volcadas a través de los datos de la Tabla II puedan contribuir a disminuir el temor del público en general frente a la instalación y operación de estas instalaciones.

Como consideraciones finales se recomienda que en el diseño y construcción de las Estaciones Transformadoras se preste especial atención en la forma en la que se accede a las mismas con cables subterráneos ya que, como se detalló en párrafos anteriores, suelen ser puntos clave en el aporte de campo magnético en el perímetro de dichas instalaciones. En este sentido se debería tener en cuenta tanto la distribución geométrica, agrupamiento de conductores (considerando también la carga y fases), profundidad de instalación y evitando la realización de bucles o arrollamientos innecesarios.

Se ha verificado también que la incorporación de instalaciones de Alta Tensión aisladas en gas (hexafluoruro de azufre, SF_6) contribuye a la disminución general de los campos eléctrico y magnético debido al tipo de construcción y disposición de los elementos. Este tipo de instalaciones resulta además mucho más compacta que la construcción convencional lo que permite también reducir el impacto visual y confinar toda la instalación a un recinto completamente cerrado.

5 REFERENCIAS

- [1] Resolución SE 77/98, Secretaría de Energía de la Nación (Argentina).
- [2] Resolución ENRE 1724/1998.
- [3] IEEE Std. 644-1994, "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines".
- [4] IEC 833, "Measurement of power-frequency electric fields".
- [5] Curso de posgrado IITREE-FI-UNLP: "Compatibilidad de Instalaciones Eléctricas con el Ambiente (IAE)"