

CONGRESO INTERNACIONAL DE DISTRIBUCION ELECTRICA CIDEL ARGENTINA 2002

ASPECTOS AMBIENTALES DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS EN LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN

J. Z. Vernieri - IITREE-UNLP

P. L. Arnera - IITREE-UNLP

M. B. Barbieri - IITREE-UNLP

ARGENTINA

E-mail: iitree@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave

Campos eléctricos y magnéticos; Impacto ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte de energía eléctrica ocasiona, inevitablemente, una alteración del ambiente en el cual se desarrolla. Entre las perturbaciones más importantes a considerar podemos citar a los campos eléctricos y magnéticos que generan las instalaciones eléctricas, el impacto visual y el efecto corona vinculado a perturbaciones del tipo de ruido audible y radio interferencia.

Entre estos efectos, son los campos eléctricos y magnéticos, los que han despertado la preocupación del público debido a su posible vinculación con aspectos de salud. En cuanto a esta problemática, actualmente no hay evidencia científica convincente de que los campos electromagnéticos produzcan efectos de largo término, particularmente cáncer. Sin embargo, mientras el debate persiste en la comunidad científica, diferentes compañías han optado por aplicar técnicas de diseño que permitan reducir los valores de emisión de campos de las líneas eléctricas. No obstante, deberá tenerse en cuenta que en la búsqueda de la reducción de los niveles de campo, también se ven alterados los otros aspectos ambientales, tales como el impacto visual, interferencia, etc.

Con el objeto de cuantificar los parámetros perturbadores ambientales, se presentan cálculos de campo eléctrico, magnético, radio interferencia y ruido audible, comparando diseños convencionales con aquellos que optimizan su impacto visual y a su vez reducen los niveles de emisión de campos.

Los casos analizados, corresponden a líneas eléctricas aéreas en 500 kV y 132 kV. En el primer caso, Caso A, se comparan los efectos ambientales de dos diseños empleados en líneas eléctricas aéreas en 500 kV: el diseño tradicional con torre arriostrada, y el diseño compacto tipo "Cross Rope Suspension" (CRS).

En el segundo caso, Caso B, se comparan los efectos ambientales de tres diseños empleados en líneas eléctricas aéreas en 132 kV: el diseño convencional con ménsula,

cadena de aisladores de suspensión y configuración coplanar vertical, y el diseño compacto con aisladores rígidos tipo "Line Post", en sus dos variantes, configuración coplanar vertical y triangular.

En el tercer caso, Caso C, sobre un circuito múltiple de dos ternas en 132 kV se comparan los efectos producidos para dos alternativas de alimentación de las ternas, variando la asignación de secuencia de fases.

Para el cálculo de Campo eléctrico y Campo de Inducción Magnética generados por las líneas se emplea el programa EzEmf (versión 1.07) del Departamento de Protección Ambiental del Estado de Florida, Estados Unidos. Se calculan los módulos de campo en valores eficaces, a una altura de un metro sobre el nivel del suelo, volcándose en gráficas el perfil transversal correspondiente.

Para el cálculo de los niveles de perturbación de radio interferencia y ruido audible se utiliza un programa de cálculo que ha desarrollado el IITREE, a partir de expresiones obtenidas por ENEL en el marco del Proyecto 1000 kV. El modelo de cálculo ha sido contrastado con mediciones de campo.

2. CASO A

Se analizan dos líneas eléctricas aéreas en 500 kV correspondiendo una de ellas al diseño tradicional con torre arriostrada, y el otro al diseño compacto tipo "Cross Rope Suspension" (CRS).

La corriente de carga que se considera para el cálculo del campo magnético es de 1400 A por fase correspondiendo a una transferencia de 1200 MVA.

Respecto de los conductores, cada fase está constituida por 4 conductores Al/Ac, conformación en haz cuya separación es de 450 mm. Las características del conductor son:

Tipo: ACSR, Peace River Modificado
Sección : 396.56 mm²
Diámetro exterior: 24,89 mm
Formación: 48 x 3.11 + 7 x 2.41

Cada línea está protegida por dos cables de guardia de acero de las siguientes características:

Tipo: ASTM A 363

Sección: 51.14 mm²
 Diámetro exterior: 9.15 mm
 Formación: 7

Se considera el centro de la línea (CL) en $x = 0$. La altura de los conductores corresponde a la altura mínima es decir en el punto del vano en que la flecha es máxima (condición extrema del conductor).

2.1 Caso A1

Este caso lo constituye el diseño Tradicional de torre tipo arriostrada, esquematizado en la FIGURA 1.

1- Ubicación de los conductores de fase

$x_1 = -12.54$ m $y_1 = 14.5$ m
 $x_2 = 0.00$ m $y_2 = 14.5$ m
 $x_3 = +12.54$ m $y_3 = 14.5$ m

2- Ubicación de los cables de guardia

$x_4 = -9.10$ m $y_4 = 27.0$ m
 $x_5 = +9.10$ m $y_5 = 27.0$ m

2.2 Caso A2

Este caso lo constituye el diseño Compacto de torre tipo "Cross Rope Suspension" (CRS), también volcado en la FIGURA 1.

1- Ubicación de los conductores de fase

$x_1 = -7.0$ m $y_1 = 12.4$ m
 $x_2 = 0.0$ m $y_2 = 11.5$ m
 $x_3 = +7.0$ m $y_3 = 12.4$ m

2- Ubicación de los cables de guardia

$x_4 = -13.70$ m $y_4 = 25.0$ m
 $x_5 = +13.70$ m $y_5 = 25.0$ m

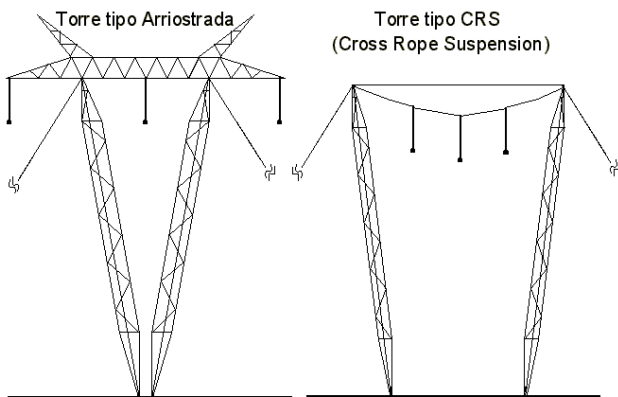


FIGURA 1 -- Caso A1: Diseño Tradicional Torre Tipo Arriostrada, Caso A2: Diseño Compacto: Torre Tipo CRS (Cross Rope Suspension)

2.3 Resultados del Caso A

2.3.1 Campo Eléctrico y Campo Magnético

Los perfiles transversales de Campo eléctrico y Campo de Inducción Magnética se vuelcan en las FIGURAS 2 y 3. Tal como se puede observar en estas gráficas, para valores máximos similares, el diseño Compacto (Caso A2) proporciona una reducción tanto del campo eléctrico como del magnético al alejarnos del centro de la línea,

mucho más acentuada que el diseño Tradicional (Caso A1). Se debe destacar que la altura mínima de los conductores resulta inferior para el diseño compacto (Caso A1: 14.5 m y Caso A2: 11.5 m)

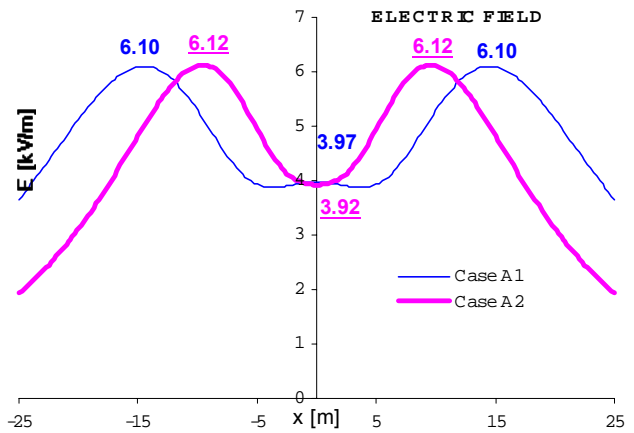


FIGURA 2 - Casos A1 y A2: Perfil transversal de Campo Eléctrico en kV/m.

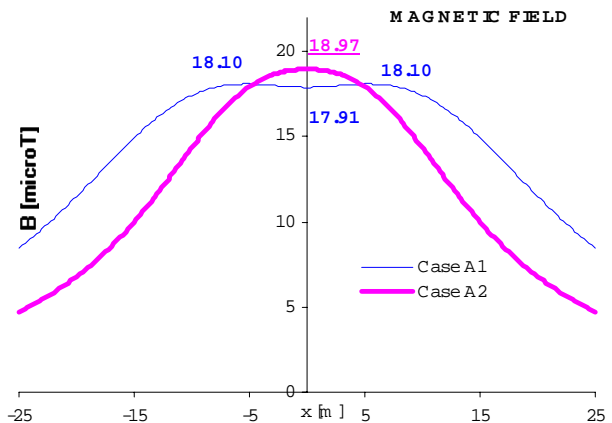


FIGURA 3 - Casos A1 y A2: Perfil transversal de Campo Magnético en microTesla.

Los valores máximos y valores de referencia a las distancias de 25 m y 50 m desde el CL ($x = 0$ m) se vuelcan en la siguiente tabla:

	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m]		CAMPO MAGNÉTICO [microT]	
	Caso A1	Caso A2	Caso A1	Caso A2
valor máximo	6.10	6.12	18.10	18.97
en $x = \pm 25$ m	3.65	1.94	8.47	4.74
en $x = \pm 50$ m	0.62	0.30	2.4	1.32

2.3.2 Efecto Corona

Radio Interferencia y Ruido Audible

El nivel de radio interferencia (RI) bajo "lluvia intensa" se define como el valor medio de la RI en condiciones de lluvia estacionaria con una intensidad de precipitación superior a 1 mm/h. Este nivel es marcadamente estable y

reproducibile, razón por la cual es considerado como un nivel característico de la línea.

Mediante la aplicación del modelo de cálculo, se obtienen los perfiles transversales de RI (expresados en dB en relación a $1\mu\text{V/m}$) para "lluvia intensa" y mínima altura de conductores, graficados en la FIGURA 4. Los cálculos se realizan para la condición de "lluvia intensa", si se desean referir a valores de referencia de distintas características le corresponderá restar de 10 a 15 dB para el intervalo entre los niveles de RI 50 % "lluvia intensa" y 80 % "todo tiempo", y de 20 a 25 dB para el intervalo entre los niveles de RI 50 % "lluvia intensa" y 50 % "buen tiempo".

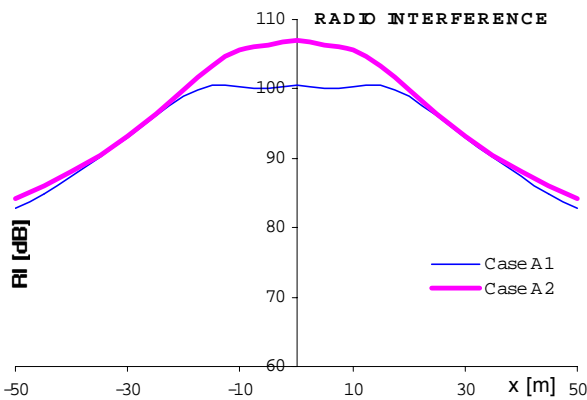


FIGURA 4 - Casos A1 y A2: Perfil transversal de Radio Interferencia en decibels.

La presencia de efecto corona en conductores de líneas de transmisión puede dar origen a sonidos audibles (RA: ruido audible). Al igual que en el caso de RI, la intensidad de dicho ruido depende del gradiente superficial de campo eléctrico en los conductores, de su estado superficial y de las condiciones atmosféricas.

La condición climática que produce la máxima intensidad de RA es la de "lluvia intensa". No obstante, no es ésta la más adversa desde el punto de vista del público. La condición más desfavorable, es la posterior a la lluvia, cuando el ruido de la misma ha cesado y el conductor se encuentra húmedo, situación en que la generación de RA es aún muy intensa.

Por lo tanto la condición climática adoptada como referencia es la de "conductor húmedo". El perfil transversal de RA se vuelca en la FIGURA 5.

Con el objeto de comparar los resultados obtenidos para ambas variantes, se vuelcan en una tabla los valores máximos y valores en un par de puntos de la curva. Se debe destacar que se presentan los casos de "referencia", lluvia intensa para RI y conductor mojado para RA.

	RI [dB $\mu\text{V/m}$]		RA [dB (A)]	
	Caso A1	Caso A2	Caso A1	Caso A2
valor máximo	101	107	93	97
en $x = \pm 25 \text{ m}$	96	96	44.6	50.5
en $x = \pm 50 \text{ m}$	83	84	40.7	46.5

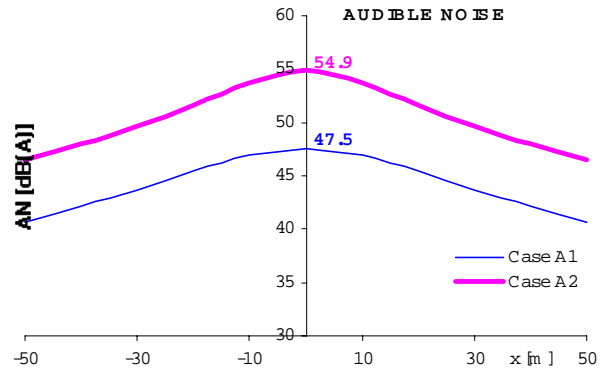


FIGURA 5 - Casos A1 y A2: Perfil transversal de Ruido Audible en decibels.

3. CASO B

En el Caso B se analizan tres líneas eléctricas aéreas en 132 kV. La primera línea corresponde al diseño convencional con ménsula, cadena de aisladores de suspensión y configuración coplanar vertical, la segunda representa un diseño compacto en disposición coplanar vertical, conformado por aisladores rígidos, conocidos como "Line Post". La tercera línea es un diseño también tipo "Line Post", pero para disposición triangular. El esquema de las torres y disposición de conductores para estos tres casos se muestra en la FIGURA 6.

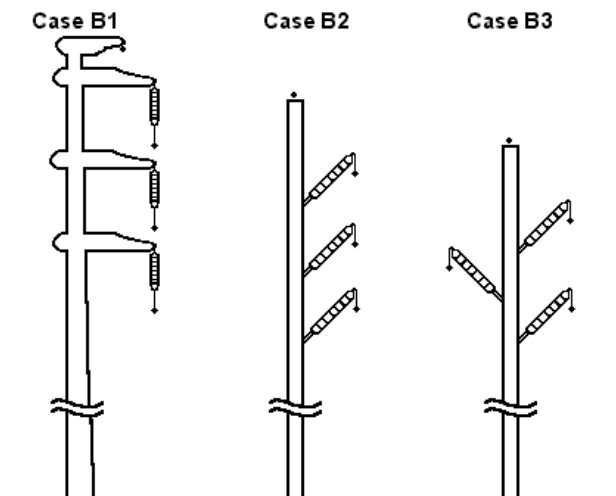


FIGURA 6 - Caso B1: Torre con ménsula, disp. coplanar vertical; Caso B2: "Line Post" disp. coplanar vertical (diseño compacto), y Caso B3: "Line Post" disp. triangular.

Para que resulten comparables los perfiles de campo de las distintas configuraciones se considera la misma altura mínima de los conductores de fase para las tres líneas, siendo dicha altura 8.8 m.

La corriente de carga que se considera para el cálculo del campo magnético es la corriente máxima admisible para los conductores seleccionados, 630 A por fase, correspondiendo a una transferencia de 144 MVA.

Cada fase está constituida por 1 conductor Al/Ac, de las

siguientes características:

Tipo: Al/Ac
 Sección : 240/40 mm²
 Diámetro exterior: 21.793 mm
 Formación: 26 x 3.45 + 7 x 2.68

Cada línea está protegida por un cable de guardia de acero galvanizado de 50 mm² de las siguientes características:

Tipo: ASTM A 363
 Sección: 51.14 mm²
 Diámetro exterior: 9.15 mm
 Formación: 7

3.1 Caso B1

Este caso lo constituye el diseño convencional de poste con ménsula y disposición coplanar vertical (FIGURA 6).

Ubicación de los conductores de fase

$x_1 = +2.4$ m $y_1 = 15.2$ m
 $x_2 = +2.4$ m $y_2 = 12.0$ m
 $x_3 = +2.4$ m $y_3 = 8.8$ m

Ubicación del cable de guardia

$x_4 = +0.5$ m $y_4 = 18.4$ m

3.2 Caso B2

Este caso lo constituye el diseño compacto de aisladores rígidos tipo "Line Post", disposición coplanar vertical (FIGURA 6).

Ubicación de los conductores de fase

$x_1 = +1.6$ m $y_1 = 12.6$ m
 $x_2 = +1.6$ m $y_2 = 10.7$ m
 $x_3 = +1.6$ m $y_3 = 8.8$ m

Ubicación del cable de guardia

$x_4 = +0.0$ m $y_4 = 15.4$ m

3.3 Caso B3

Este caso lo constituye el diseño con aisladores rígidos tipo "Line Post", disposición triangular (FIGURA 6).

Ubicación de los conductores de fase

$x_1 = +1.6$ m $y_1 = 12.0$ m
 $x_2 = -1.6$ m $y_2 = 10.4$ m
 $x_3 = +1.6$ m $y_3 = 8.8$ m

Ubicación del cable de guardia

$x_4 = +0.0$ m $y_4 = 14.8$ m

3.4 Resultados del Caso B

3.4.1 Campo Eléctrico y Campo Magnético

En las FIGURAS 7 y 8 se vuelcan los perfiles transversales correspondientes a los módulos de Campo Eléctrico y Campo de Inducción Magnética respectivamente. Tal como se puede observar en estas gráficas, la línea convencional (caso B1) es la que presenta mayores valores máximos tanto de campo eléctrico como magnético. La disposición triangular, con aisladores tipo "Line post" (caso B3) es la que proporciona el menor campo eléctrico máximo pero el

perfil que disminuye más lentamente. El diseño compacto de disposición vertical (Caso B2), con un valor máximo algo superior al generado por la disposición triangular, es el que proporciona el perfil de campo eléctrico más estrecho, ya que presenta una acentuada reducción al alejarnos de la línea.

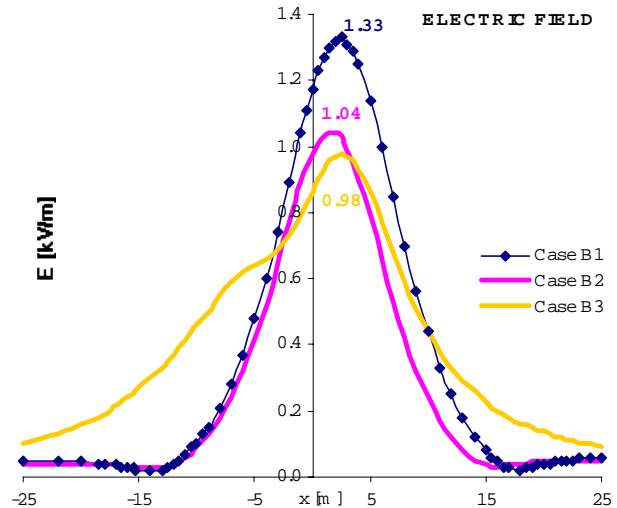


FIGURA 7 - Perfil transversal de Campo Eléctrico, Caso B1: Torre con ménsula, disp. coplanar vertical; Caso B2: "Line Post" disp. coplanar vertical, y Caso B3: "Line Post" disp. triangular.

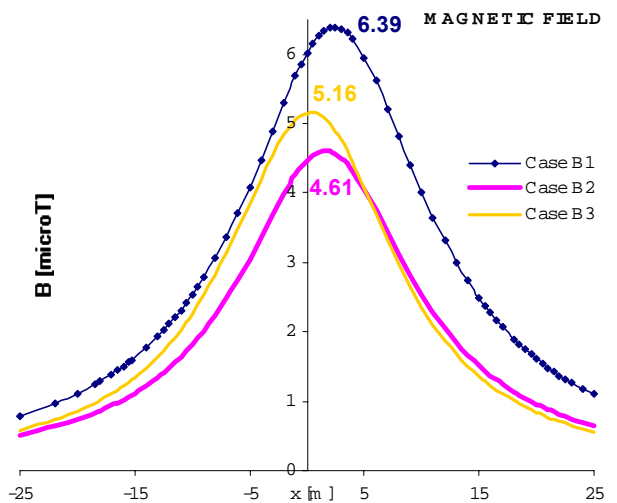


FIGURA 8 - Perfil transversal de Campo Magnético, Caso B1: Torre con ménsula, disp. coplanar vertical; Caso B2: "Line Post" disp. coplanar vertical, y Caso B3: "Line Post" disp. triangular

En cuanto al campo magnético es el diseño compacto de disposición vertical (caso B2) el que genera el perfil más reducido. Es importante destacar que este diseño además de reducir los valores de campo, también resulta beneficioso desde el punto de vista del impacto visual ya que las estructuras resultan de menor envergadura, en cuanto a la menor altura de la torre, para igual altura mínima de los conductores y en cuanto a la eliminación del uso de ménsulas.

Los valores máximos y algunos valores de referencia desde el CL ($x = 0$ m) se vuelcan en las siguientes tablas:

	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m]		
	Caso B1	Caso B2	Caso B3
valor máximo	1.33 ($x = 2.5$ m)	1.04 ($x=2$ m)	0.98 ($x=2.5$ m)
$x = -10$ m	0.10	0.09	0.46
$x = -5$ m	0.48	0.41	0.64
$x = +5$ m	1.14	0.79	0.86
$x = +10$ m	0.44	0.24	0.44

	CAMPO MAGNÉTICO [microT]		
	Caso B1	Caso B2	Caso B3
valor máximo	6.39 ($x = 2.5$ m)	4.61 ($x=1.5$ m)	5.16 ($x=0.5$ m)
$x = -10$ m	2.54	1.81	2.26
$x = -5$ m	4.08	3.05	3.85
$x = +5$ m	5.96	4.05	4.08
$x = +10$ m	4.01	2.53	2.35

3.4.2 Efecto Corona

Radio Interferencia y Ruido Audible

Los perfiles transversales de Radio Interferencia y Ruido Audible se vuelcan en las FIGURAS 9 y 10.

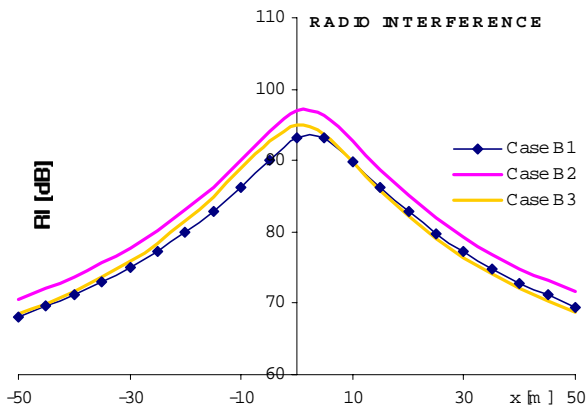


FIGURA 9 - Casos B1, B2 y B3: Perfil transversal de Radio Interferencia en decibeles.

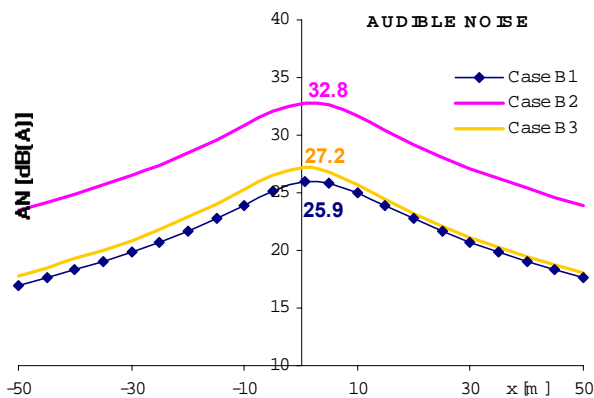


FIGURA 10 - Casos B1, B2 y B3: Perfil transversal de Ruido Audible en decibeles.

En las siguientes tablas, se comparan los valores de referencia para RI y RA de las alternativas consideradas.

	RADIO INTERFERENCIA [dB]		
	Caso B1	Caso B2	Caso B3
máximo	93	97	95
$x = -10$ m	86	90	89
$x = -5$ m	90	94	93
$x = +5$ m	93	96	94
$x = +10$ m	90	93	90

	RUIDO AUDIBLE [dB (A)]		
	Caso B1	Caso B2	Caso B3
máximo	25,9	32,8	27,2
$x = -10$ m	23,9	30,8	25,3
$x = -5$ m	25,1	32	26,5
$x = +5$ m	25,9	32,6	26,8
$x = +10$ m	25	31,6	25,7

4. CASO C

En el Caso C se analiza la influencia de la secuencia de energización en un circuito múltiple. En la FIGURA 11 se presentan para una doble terna tipo “Line post”, con configuración similar al caso B2 presentado anteriormente, los casos C1 y C2 y sus respectivos esquemas de secuencia.

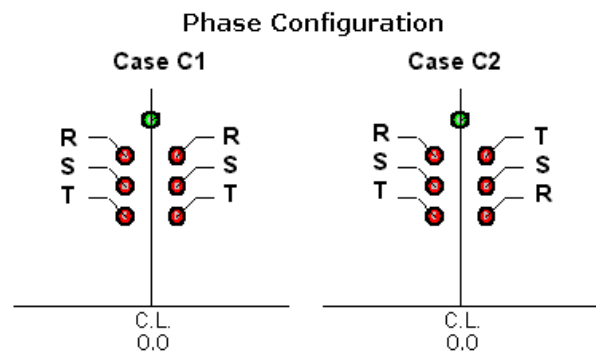


FIGURA 11 – Secuencias de energización de los conductores de fase de las dos ternas en 132 kV .

4.1 Resultados del Caso C

4.1.1 Campo Eléctrico y Campo Magnético

Los perfiles transversales de Campo eléctrico y Campo Magnético se vuelcan en las FIGURAS 12 y 13.

Los valores máximos y algunos valores de referencia desde el CL ($x = 0$ m) se vuelcan a en la siguiente tabla:

	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m]		CAMPO MAGNÉTICO [microT]	
	Caso C1	Caso C2	Caso C1	Caso C2
valor máximo	1.85	0.56	8.43	2.96
$x = +/-15$ m	0.06	0.07	2.62	0.46
$x = +/-10$ m	0.31	0.20	4.29	0.98
$x = +/-5$ m	1.13	0.50	6.86	2.07

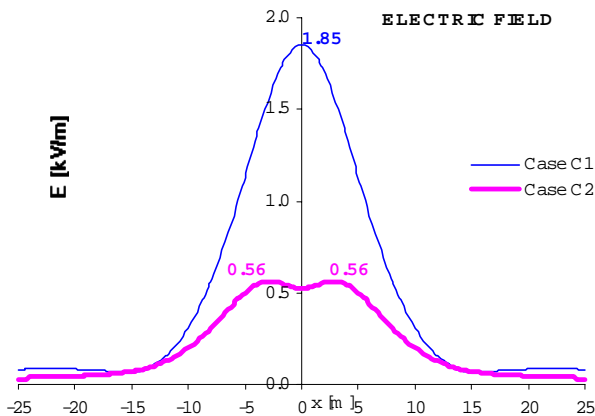


FIGURA 12 - Perfil de Campo eléctrico para diferentes arreglos de fase (Casos C1 y C2).

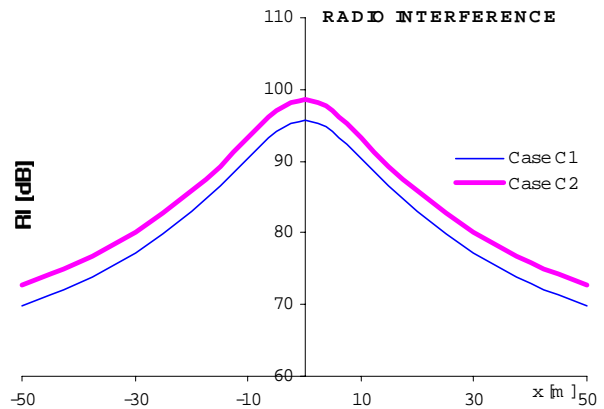


FIGURA 14 - Casos C1 y C2: Perfil transversal de Radio Interferencia en decibeles.

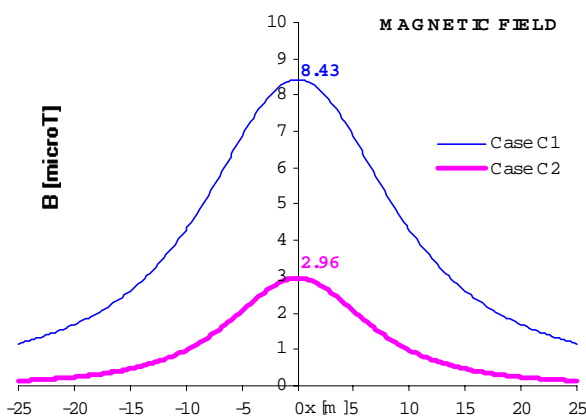


FIGURA 13 - Perfil transversal de Campo Magnético para diferentes arreglos de fase (Casos C1 y C2).

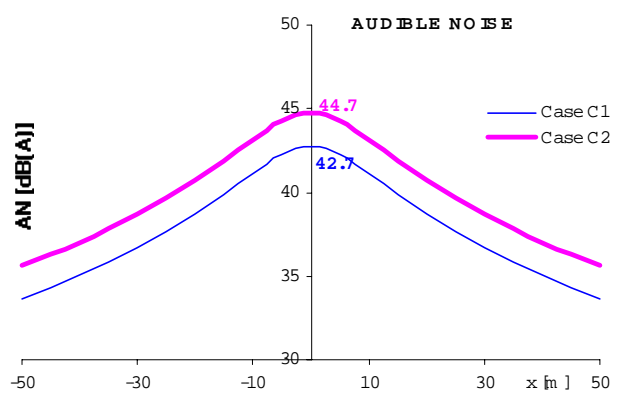


FIGURA 15 - Casos C1 y C2: Perfil transversal de Radio Interferencia en decibeles.

En las FIGURAS 12 y 13, se evidencia la influencia que posee la modificación de la secuencia de energización en circuitos múltiples, en los valores de campo que se obtienen.

Un adecuado secuenciamiento de fases, permite una drástica reducción de los valores máximos y del perfil, tanto para el campo eléctrico como para el magnético, tal como sucede con el caso C2.

4.1.2. Efecto Corona

Radio Interferencia y Ruido Audible

Los perfiles transversales de Radio Interferencia y Ruido Audible se vuelcan en las FIGURAS 14 y 15.

En la siguiente tabla, se comparan los valores de referencia para RI y RA de las alternativas consideradas.

	RI [dB μ V/m]		RA [dB (A)]	
	Caso C1	Caso C2	Caso C1	Caso C2
valor máximo	96	99	42,7	44,5
en $x = \pm 5$ m	94	97	42	44
en $x = \pm 10$ m	90	93	41	43

5. CONCLUSIONES

- Se han presentado diversos ejemplos de diseños de líneas, para los cuales han sido comparados cualitativa y cuantitativamente sus parámetros ambientales.
- En todos los casos, junto al diseño convencional, se presentó el diseño que optimizara el impacto visual y a partir de ello se realizaron cálculos en condiciones extremas con el objeto de comparar resultados de “referencia”.
- La utilización de diseños compactos disminuye sensiblemente los valores máximos y perfiles de campo eléctrico y de inducción magnética, resultando así también beneficiosos en cuanto al aspecto de impacto visual.
- Sin embargo la utilización de diseños compactos aumenta los niveles de radio interferencia y ruido audible.
- Se deberá evaluar en el diseño de las líneas, la compatibilización de los parámetros que, dependiendo de las reglamentaciones vigentes, resulten restrictivos.

6. REFERENCIAS

[1] Res. SE 77/98, Secretaría de Energía de la Nación (Argentina). Boletín Oficial N° 28.859 1ª Sección.

[2] Res. ENRE 0546/1999, Ente Nacional Regulador de la Electricidad (Argentina). Boletín Oficial N° 29.135, p.17.

[3] Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Westinghouse Electrical Corporation, Fourth Edition 1964.

[4] Tsanakas, D. et. al. "Compact and Optimum Phase Conductor Arrangement for the Reduction of Electric and Magnetic Fields of Overhead Lines", CIGREE Session 2000, 36-103.