Anexo 10.
Estudio de Emisión de Campos Electromagnéticos.

ÍNDICE

A. INTRODUCCIÓN. 1
B. OBJETIVOS. 3
C. METODOLOGÍA. 3
C.1. Inducción de Campos Eléctricos y Magnéticos 4
C.2. Normativa Aplicable 4
D. RESULTADOS. 6
D.1. Cableado Subterráneo. 6
D.2. Campos electromagnéticos en la subestación del parque eólico. 21
D.3. Campos electromagnéticos en la línea de transmisión de 220 kv del parque eólico. 34
E. CONCLUSIONES 40
F. BIBLIOGRAFÍA 43
APÉNDICE 1. MÉTODO DE CÁLCULO DE CAMPO MAGNÉTICO 44
APÉNDICE 2. MÉTODO DE CÁLCULO DE CAMPO ELÉCTRICO 45
APÉNDICE 3. RESOLUCIÓN 77/98. 46

TABLAS

Tabla 1. Límites de exposición Humana a campos electromagnéticos de 50 Hz. Público General. 5
Tabla 2. Nivel de Interferencias de Radio Aceptables por la Asociación de Normas Canadienses para buen tiempo, a 1MHz y a 15 m de distancia lateral de la fase externa. 6
Tabla 3. Características eléctricas de los circuitos. 13
Tabla 4. Campo magnético equivalente de los circuitos a) C3, b) C2 y C3, c) C1, C2, y C3, y d) C1, C2, C3 y C4 y límites Norma Argentina junto a ICNIRP. 14
Tabla 5. Campo magnético equivalente de los circuitos y límites Norma Argentina junto a ICNIRP. 16
Tabla 6. Campo magnético equivalente de los circuitos a) Circuitos C1, C2 y C3 y límites Norma Argentina junto a ICNIRP. 18
Tabla 7. Campo magnético equivalente de los circuitos a) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6, C7 y C8 y límites Norma Argentina junto a ICNIRP. 20
Tabla 8. Valores medidos de campo eléctrico en estaciones transformadoras. 27
Tabla 9. Potencias registradas en la línea de la subestación. 29
Tabla 10. Características eléctricas de línea de transmisión. 34
Tabla 11. Campo eléctrico de línea de transmisión 1x220 kV a 1,8 m de altura y límites de la norma Argentina junto a ICNIRP. 38
Tabla 12. Campo magnético de la línea de transmisión 1x220 kV a 1,8 m de altura y límites de la norma Argentina junto a ICNIRP. 39

FIGURAS

Figura 1. Disposición geográfica de equipos eléctricos del Proyecto Parque Eólico Rinconada. 2
Figura 2. Disposición geográfica del sistema de transmisión interno del Proyecto Parque Eólico Rinconada. 7
Figura 3. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 1A. 9
Figura 4. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 2A. 10
Figura 5. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 3A. 11
Figura 6. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 4A. 12
Figura 7. Perfil de campo magnético de los circuitos a) C3, b) C2 y C3, c) C1, C2, y C3, y d) C1, C2, C3 y C4. 14
Figura 8. Esquema de zanjas en paralelo a camino. Donde las líneas punteadas de colores corresponden al cableado de cada circuito. 15
Figura 9. Perfil de campo magnético de los circuitos a) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo al Circuito C5, b) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5 y C6, c) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6 y C7. 16
Figura 10. Esquema de zanja de interconexión de las zonas principales del Parque Eólico Rinconada. Donde las líneas punteadas de colores corresponden al cableado de cada circuito. 17
Figura 11. Perfil de campo magnético de los circuitos a) Circuitos C1, C2 y C3. 18
Figura 12. Esquema de zanjas en paralelo a camino. Donde las líneas punteadas de colores corresponden al cableado de cada circuito. 19
Figura 13. Perfil de campo magnético de los circuitos a) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6, C7 y C8. 20
Figura 14. Esquema de la Subestación Elevadora Rinconada a) Distribución Física y b) Perfil. 23
Figura 15. Lugar de medida en patio de 220 kV. 25
Figura 16. Campo eléctrico en dirección transversal del patio de 220 kV. 25
Figura 17. Campo eléctrico en el perímetro del patio de 220 kV. 26
Figura 18. Campo magnético al interior de una subestación de 220 kV. 28
Figura 19. Campo magnético en el perímetro de una subestación de 220 kV. 28
Figura 20. Campo magnético medido en subestación de 230 kV. 29
Figura 21. Mapa de líneas de campo. 30
Figura 22. Perfil de campo magnético medido y simulado en eje x= 75 m. 30
Figura 23. Inducción magnética fuera de un transformador de 220 MVA, 240 kV. 31
Figura 24. Esquema de la subestación Snakefarm de 230 KV y puntos de medida de radio interferencia. 32
Figura 25. Radio interferencia medida en los diferentes puntos de borde de la subestación Snakefarm de 230 kV. Se incluye límites. 33
Figura 26. Geometría de Torre de Suspensión. 35
Figura 27. Geometría de Torre Retención Tipo B. 36
Figura 28. Geometría de Torre Retención Tipo C. 37
Figura 29. Perfil de campo eléctrico de línea transmisión 1x220 kV a través de la franja de servidumbre a 1,8 m de altura. 38
Figura 30. Perfil de campo magnético de la línea de transmisión 1x220 kV a través de la franja de servidumbre a 1,8 m de altura. 39

A. INTRODUCCIÓN.

A continuación, se presenta la caracterización de los campos electromagnéticos para el Proyecto Parque Eólico Rinconada mediante cálculos y análisis bibliográficos.

El Proyecto se ubica en las comunas de Laja y Los Ángeles, provincia del Biobío, Región del Biobío. El proyecto consiste en la construcción y operación de un parque eólico compuesto por 43 aerogeneradores de 6 MW de potencia cada uno, con una potencia instalada de 258 MW. Además, el proyecto cuenta con:

- Un sistema de transmisión interno en 33 kV basado en cables subterráneos, acomodados en arreglos de no más de 4 circuitos en paralelo por zanja.
- Una subestación eléctrica elevadora, 220/33 kV de 300 MVA. La subestación cuenta en el lado de 220 kV con dos paños de transformación y uno de línea; dos transformadores de 150/170 MVA y 10 celdas de 33 kV, dentro de las cuales 8 son para la conexión de grupos de aerogeneradores.
- Una línea de transmisión de 1x220 kV de 7,65 km, con una capacidad de nominal de 320 MVA y compuesta por 21 estructuras.

La disposición geográfica del parque eólico y equipos asociados se muestra en la **Figura 1**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Disposición geográfica de equipos eléctricos del Proyecto Parque Eólico Rinconada.

B. OBJETIVOS.

Este estudio tiene por objetivo identificar posibles impactos al medio, a través del cálculo de los campos electromagnéticos máximos inducidos por los cables canalizados subterráneamente en el o los sectores donde se concentra el mayor flujo de corriente y la línea de transmisión aérea de 220 kV. Por otra parte, se presentan valores medidos de campos electromagnéticos en instalaciones similares a la subestación elevadora en estudio.

C. METODOLOGÍA.

Los resultados de radiación electromagnéctica se obtienen a partir de los métodos de cálculo implementados en el software MATLAB, junto con los parámetros y configuraciones geométricas de los distintos circuitos eléctricos y la línea de transmisión. Posteriormente, son comparados con las normas de referencia aplicables en Chile respecto de la exposición humana a campos electromagnéticos.

Para la subestación elevadora, se realiza una comparación teórica con proyectos en operación de similares características y en base a medidas referenciales informadas en la bibliografía de estos proyectos, y se compara con valores límites establecidos por recomendaciones internacionales.

Finalmente, se realiza una estimación del nivel perturbador a frecuencias de radio generado por la subestación debido al fenómeno corona, en base a medidas referenciales informadas en la bibliografía, y se compara con valores límites establecidos por recomendaciones internacionales.

Dado que la góndola de los aerogeneradores se encuentra aproximadamente a 166 metros del piso, no se analiza el efecto de los campos electromagnéticos sobre las personas, lo anterior se justifica en el hecho que los campos electromagnéticos se reducen a niveles cercanos a cero a pocos metros de la fuente emisora. Por otro lado, fuera de la góndola solo perciben campos eléctricos, ya que la estructura metálica de ésta actúa como una jaula de Faraday.

C.1. Inducción de Campos Eléctricos y Magnéticos

En esquemas de generación eléctrica, la potencia eléctrica es transmitida a 50 Hz a través de cables o bien en forma de línea aérea por medio de conductores. La presencia de tensiones y corrientes en circuitos eléctricos provoca la inducción de campos eléctricos y magnéticos.

La inducción de campos eléctricos se debe a la presencia de cargas eléctricas (voltajes) en conductores. La intensidad del campo eléctrico se relaciona con la magnitud de las tensiones, características de los conductores, y de la distancia a la que se evalúa. Típicamente, los resultados en un lugar determinado se informan en kV/m y es mayor a menor distancia de la fuente.

La inducción de campos magnéticos es debida a la circulación de corriente eléctrica a través de conductores. La intensidad de campo magnético está relacionada con la magnitud de las corrientes, la distancia a la que se evalúa la inducción y el efecto de la inducción en el suelo. Esto último no es significativo en proximidades de los conductores. Los resultados de la inducción de campos magnéticos en un lugar determinado se informan en μT y es mayor a menor distancia de la fuente.

C.2. Normativa Aplicable

Es de interés verificar que los valores máximos de campos eléctricos y magnéticos a los que quedan expuestos personas, animales o plantas deben estar por debajo de umbrales considerados perjudiciales.

C.2.1. Valores Límites de CEM

Chile no cuenta con reglamentación relativa a los valores límites permitidos de exposición de las personas a los campos electromagnéticos de frecuencia industrial, sin embargo, el Decreto Supremo N° 40/12 del Ministerio de Medio Ambiente, en su artículo 11, establece que:

"Las normas de calidad ambiental y de emisión que se utilizarán como referencia para los efectos de evaluar si se genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), ambas del artículo 11 de la ley, serán aquellas vigentes en los siguientes Estados: República Federal de Alemania, República de Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia,

Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza. Para la utilización de las normas de referencia, se priorizará aquel Estado que posea similitud en sus componentes ambientales, con la situación nacional y/o local, lo que será justificado razonablemente por el proponente".

La **Tabla 1** presenta las principales normas de referencia aplicables en Chile, de acuerdo a lo señalado en el artículo anterior, de las cuales se elige como referencia la normativa Argentina [1] por ser la más restrictiva.

Tabla 1. Límites de exposición Humana a campos electromagnéticos de 50 Hz. Público General.

País	Campo Eléctrico [kV/m]	Campo Magnético [μT]	Observación
Alemania	5,0	100,0	-
Argentina	3,0	25,0	Borde franja de seguridad o perímetro de subestación
Australia	5,0	100,0	-
Canadá	N.E	N.E	-
España	CEU (*)(5,0)	CEU (*)(100,0)	-
Italia	5,0	10,0	Sólo para Líneas de Transmisión (LT); 3,0 μT LT nueva
Japón	3,0	No existe	Sólo para LT
U.S.A	2,0 – 11,8	15,0 – 20,0	-
Países Bajos (Gobierno)	ICNIRP (**)	ICNIRP (**)	0,4 μT. para nuevas líneas aéreas cerca de recintos con niños
Países Bajos (Consejo de Salud)	8,0	120,0	-
Suecia	No explícito	No explícito	-
Suiza	5,0	100,0	1,0 μT nuevas LT y cableados
ICNIRP	5,0	100,0	-
IEEE	5,0	904,0	-
Consejo Unión Europea (CEU)	5,0	100,0	-

(*) Council of the European Union
(**) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Fuente: Elaboración propia.

Además de la necesaria comparación de los resultados de campos eléctricos y magnéticos con los límites recomendados, son de interés los valores típicos de la inducción electromagnética a que se ven sometidas las personas por la operación de artefactos eléctricos domiciliarios. Por ejemplo, mediciones experimentales a una distancia de 30 cm indican que un secador de pelo produce 80 V/m y hasta 7 μT. Una aspiradora puede emitir 50 V/m y hasta 20 μT. Es

importante destacar que a menor distancia estas cantidades crecen, por lo tanto, las personas pueden verse sometidas a inducciones electromagnéticas mayores. A 3 cm el secador de pelo y la aspiradora pueden emitir hasta 2000 µT y 800 µT respectivamente.

C.2.2. Valores Límites de Perturbación Radioeléctrica

En Chile no existen regulaciones específicas para el límite de radio interferencia provocada por una subestación, sin embargo, la *Association Canadienne de Normalisation* establece que los niveles de perturbación de radio eléctrica aceptables a 1 MHz a 15 m de distancia lateral de la fase externa para una línea de transmisión, se encuentra en los rangos que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Nivel de Interferencias de Radio Aceptables por la Asociación de Normas Canadienses para buen tiempo, a 1MHz y a 15 m de distancia lateral de la fase externa.

Voltaje Nominal entre fases (kV)	Nivel de interferencia de Radio (db/µV/m)
Menor a 70	43
70 – 200	49
200 – 300	53
400 – 600	60
Mayor a 600	63

Fuente: Elaboración propia.

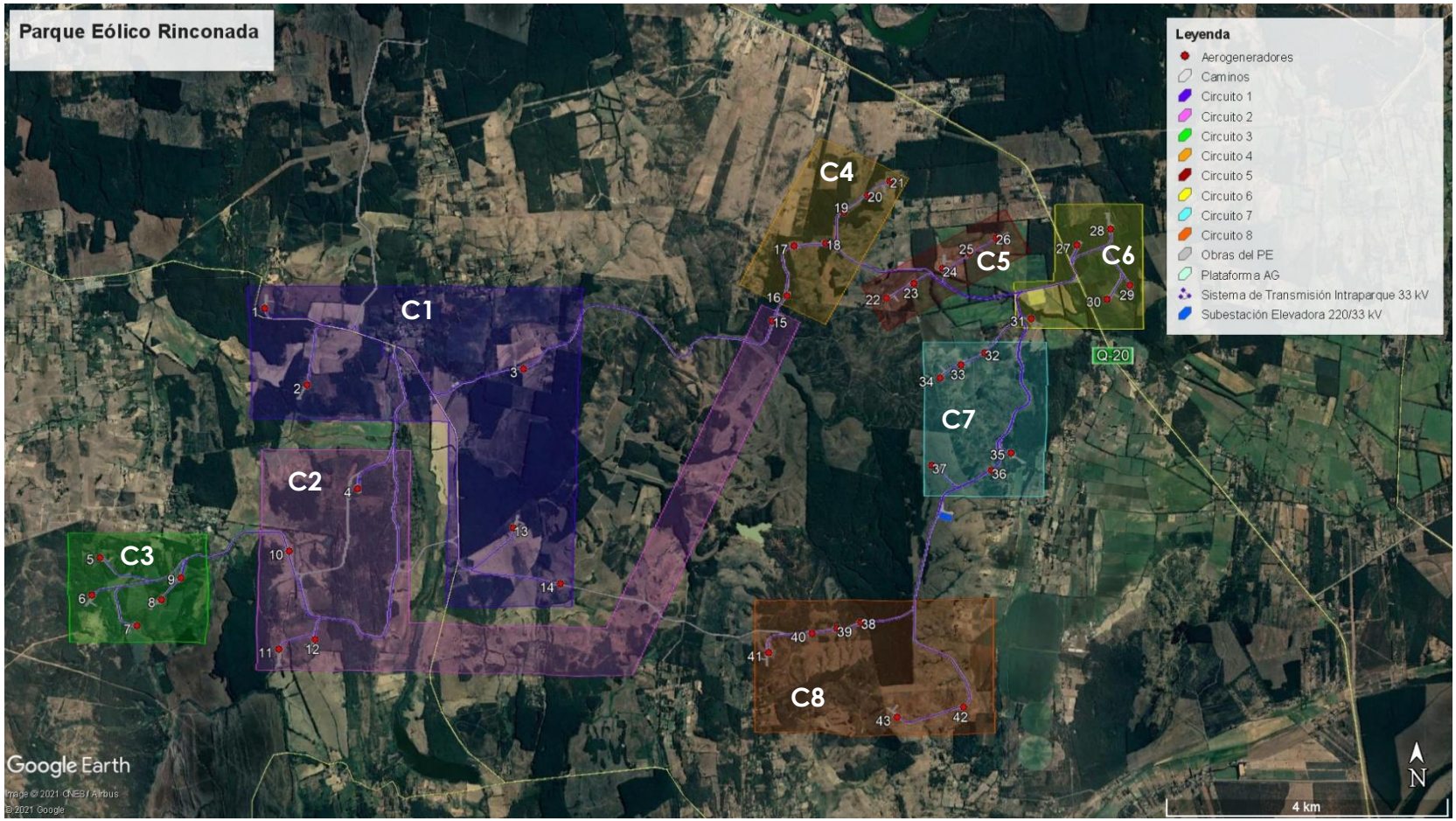
De la tabla anterior se observa que, para una línea de 220 kV, el límite correspondiente es 53 [db/µV/m)]. En las subestaciones, los valores medidos a más de 15 m del cerco del recinto de la subestación son inferiores.

D. RESULTADOS.

D.1. Cableado Subterráneo.

D.1.1. Zonas de Estudio

La disposición geográfica del sistema de transmisión interno del parque eólico, así como la conformación de los distintos circuitos, es el mostrado en la **Figura 2**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Disposición geográfica del sistema de transmisión interno del Proyecto Parque Eólico Rinconada.

Respecto al sistema de transmisión interno del parque eólico, se realizan evaluaciones electromagnéticas próximas a los siguientes grupos de circuitos eléctricos en canalizaciones subterráneas que agrupan los siguientes circuitos:

- Una Zanja en paralelo a caminos:
  - Circuito C3.
  - Circuitos C2 y C3.
  - Circuitos C1, C2 y C3.
  - Circuitos C1, C2, C3 y C4.
- Dos Zanjas en paralelo a caminos.
  - Circuitos C1, C2, C3 y C4 por una zanja y por otra el Circuito C5.
  - Circuitos C1, C2, C3 y C4 por una zanja y por otra los Circuitos C5 y C6.
  - Circuitos C1, C2, C3 y C4 por una zanja y por otra los Circuitos C5, C6 y C7.
- Interconexión de Zonas.
  - Circuitos C1, C2, y C3 en paralelo por una zanja.
- Llegada a Subestación.
  - Circuitos C1, C2, C3 y C4 por una zanja y en paralelo al otro lado del camino, por otra zanja, los Circuitos C5, C6, C7 y C8.

Dado que son circuitos subterráneos que se canalizan de manera paralela, se calcula el campo magnético dentro de una faja de 10 m (5 metros a cada lado del eje central de la zanja). El campo eléctrico es cero fuera de los cables debido a que estos están construidos con una pantalla metálica, por lo que se produce el efecto de Jaula de Faraday. La evaluación se realiza considerando la corriente máxima dada la generación conectada en cada circuito.

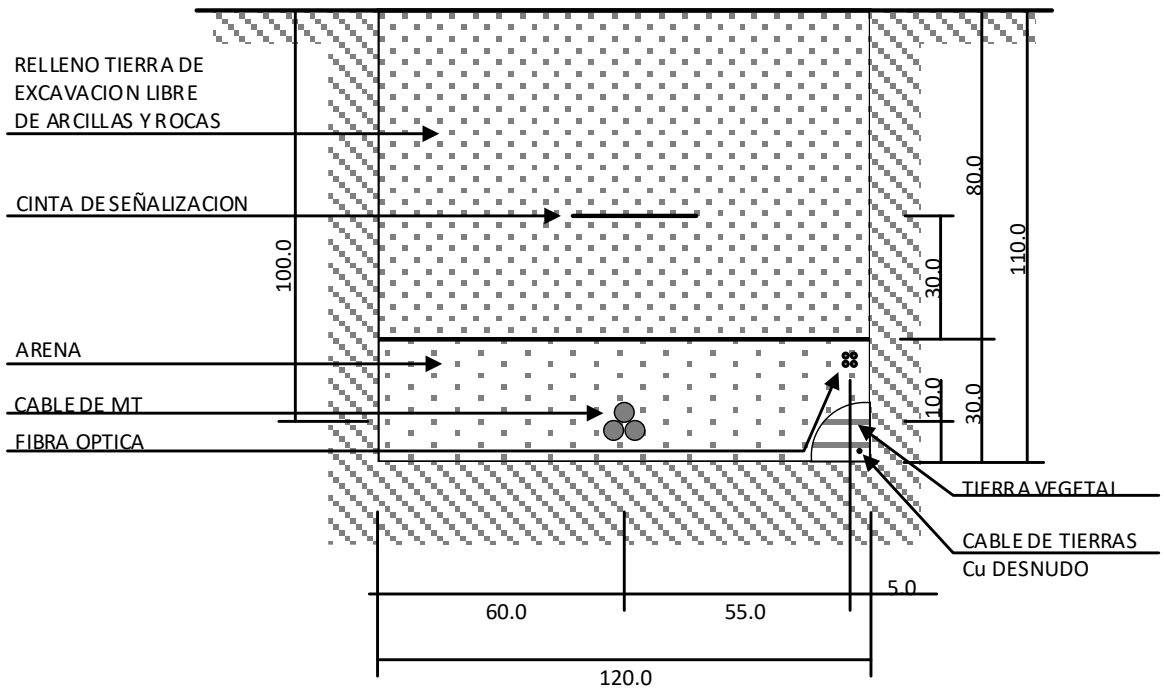
D.1.2. Tipos de Zanjas

En el Proyecto Parque Eólico Rinconada se utilizarán 4 tipos de zanjas para interconectar los 43 aerogeneradores con la subestación elevadora.

A continuación, se presentan los tipos de zanjas:

Zanja Tipo 1A:

La zanja tipo 1A está diseñada para alojar al conjunto de cables de poder, control y puesta a tierra para un circuito o agrupación de aerogeneradores, tal como se puede ver en la **Figura 3**.



ZANJA TIPO 1A
ZANJA PARA 1 CIRCUITO DE MT AL LADO DE VIAL

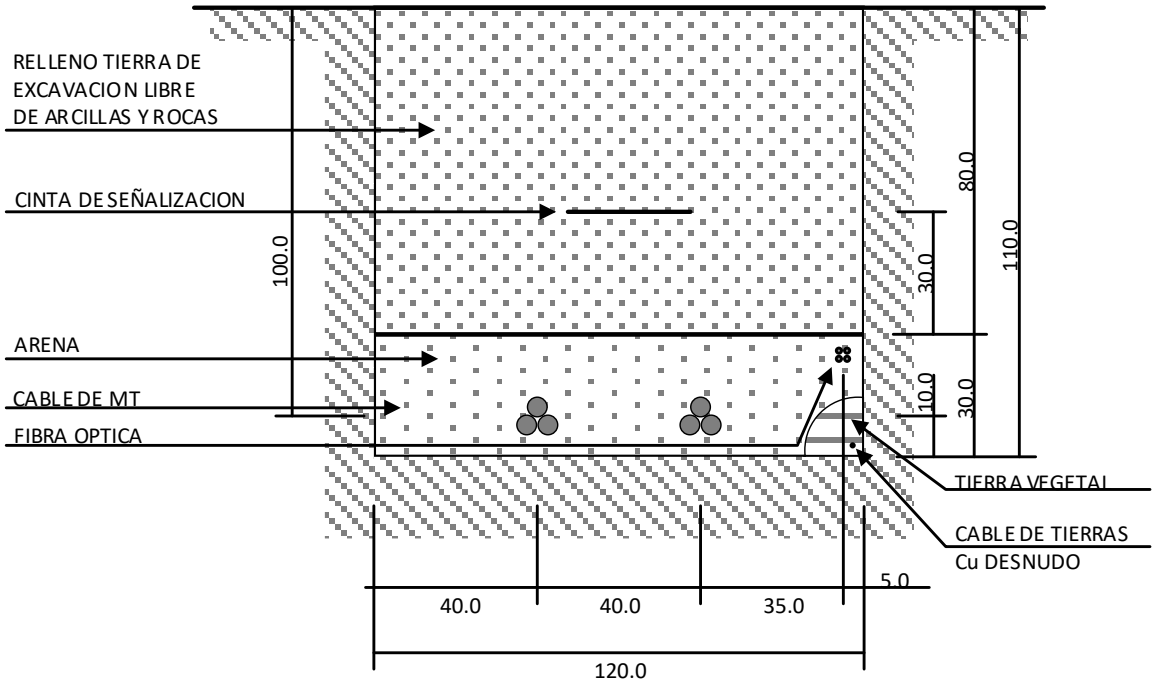
(ACOTACION EN CENTIMETROS)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 1A.

Zanja Tipo 2A:

La zanja tipo 2A está diseñada para alojar al conjunto de cables de poder, control y puesta a tierra para dos circuitos o dos agrupaciones de aerogeneradores, tal como se puede ver en la **Figura 4**.



ZANJA TIPO 2A
ZANJA PARA 2 CIRCUITOS DE MT AL LADO DE VIAL

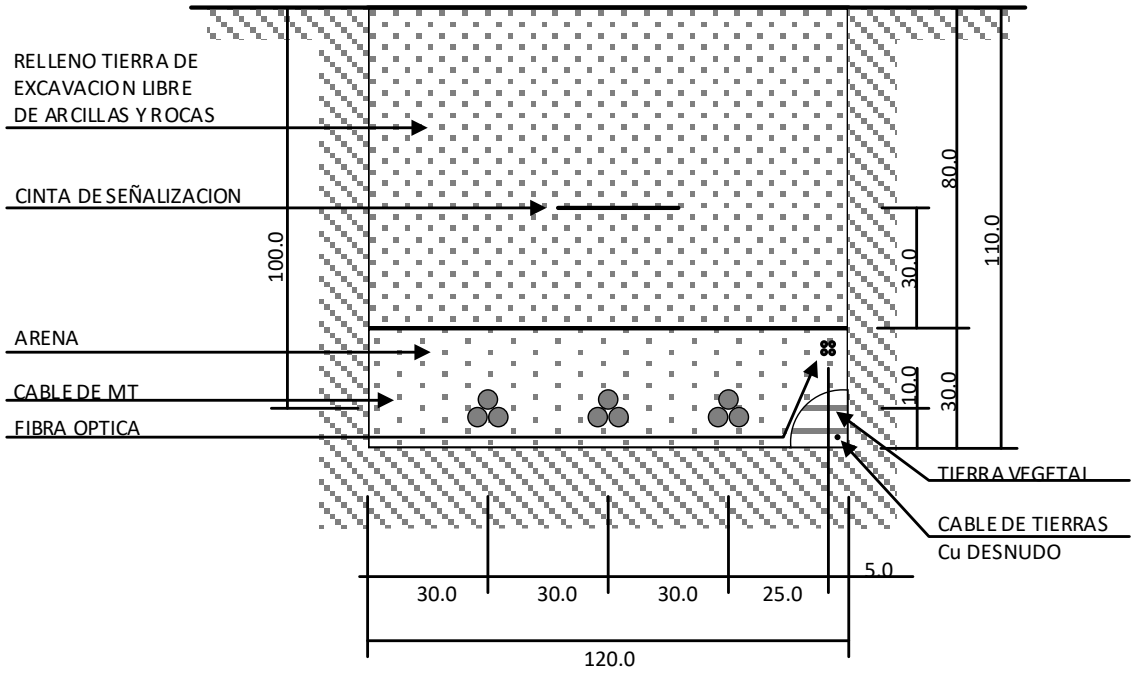
(ACOTACION EN CENTIMETROS)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 2A.

Zanja Tipo 3A:

La zanja tipo 3A está diseñada para alojar al conjunto de cables de poder, control y puesta a tierra para tres circuitos o tres agrupaciones de aerogeneradores, tal como se puede ver en la **Figura 5**.



ZANJA TIPO 3A
ZANJA PARA 3 CIRCUITOS DE MT AL LADO DE VIAL

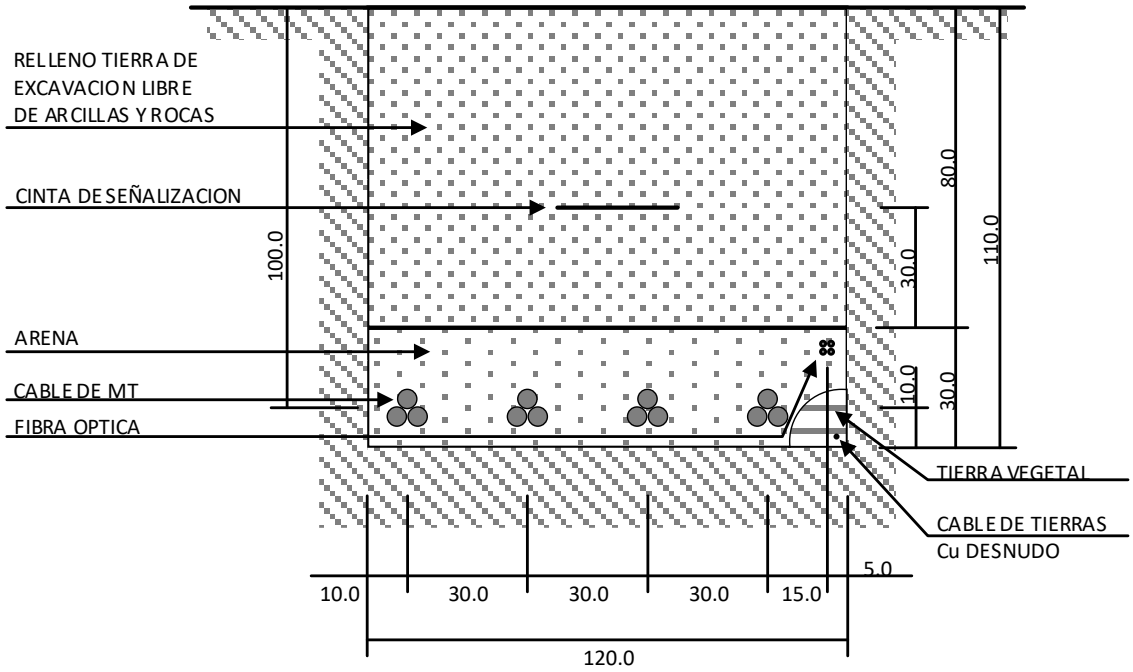
(ACOTACION EN CENTIMETROS)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 3A.

Zanja Tipo 4A:

La zanja tipo 4A está diseñada para alojar al conjunto de cables de poder, control y puesta a tierra para cuatro circuitos o cuatro agrupaciones de aerogeneradores, tal como se puede ver en la **Figura 6**.



ZANJA TIPO 4A
ZANJA PARA 4 CIRCUITOS DE MT AL LADO DE VIAL

(ACOTACION EN CENTIMETROS)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Disposición geométrica de los cables en la zanja tipo 4A.

D.1.3. Cálculo de Campo Magnético

Los cálculos de campos magnéticos se realizan utilizando un análisis bidimensional y se presentan en el **Apéndice 1**.

La evaluación electromagnética debida a los circuitos canalizados subterráneamente se realiza a nivel de la cabeza de las personas, cuyas

características se presentan en la **Tabla 3**. Esto representa el caso típico de inducción a la que las personas eventualmente pueden quedar expuestas por la operación de los cables en 33 kV. Es importante destacar que, debido a la pantalla metálica presente en los cables considerados en el Proyecto Parque Eólico Rinconada, el campo eléctrico sólo sucede al interior del cable, lo anterior es equivalente a que el conductor no induce campo eléctrico al exterior del cable porque se produce la denominada Jaula de Faraday (cubierta metálica a potencial cero respecto al suelo).

Tabla 3. Características eléctricas de los circuitos.

Circuito	Aerogeneradores		Potencia [MW]	Corriente [A]	Cable unipolar	
	ID	Cantidad			Sección [mm²]	Diám. Ext. [mm]
C1	1, 2, 3, 13, 14	5	30	552,5	400	56
C2	4, 10, 11, 12, 15	5	30	552,5	400	56
C3	5, 6, 7, 8, 9	5	30	552,5	400	56
C4	16, 17, 18, 19, 20, 21	6	36	663,0	500	59
C5	22, 23, 24, 25, 26	5	30	552,5	400	56
C6	27, 28, 29, 30, 31	5	30	552,5	400	56
C7	32, 33, 34, 35, 36, 37	6	36	663,0	500	59
C8	38, 39, 40, 41, 42, 43	6	36	663,0	500	59

Fuente: Elaboración propia.

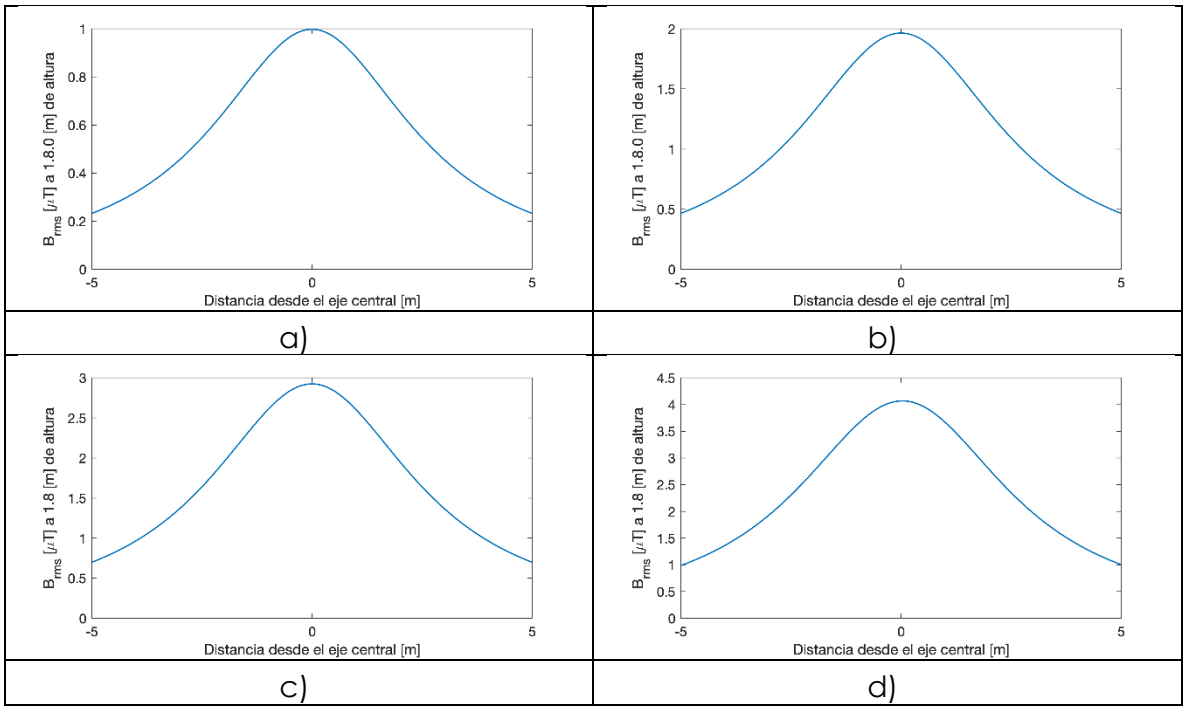
D.1.3.1. Una Zanja en paralelo a caminos.

Los circuitos se encuentran enterrados a 1000 mm bajo el nivel del suelo respectivamente, y a una distancia horizontal entre ellos de:

a. Circuito C3: al centro de la zanja (Zanja Tipo 1A).
b. Circuitos C2 y C3: a 400 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 2A).
c. Circuitos C1, C2 y C3: a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 3A).
d. Circuitos C1, C2, C3 y C4: a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 4A).

El perfil de campo magnético se muestra en la **Figura 7** y el valor máximo se presenta en la **Tabla 4** junto con el límite recomendado.

Para los cálculos, se utilizan las secciones de cable y potencia definidas para cada circuito en la **Tabla 3**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Perfil de campo magnético de los circuitos a) C3, b) C2 y C3, c) C1, C2, y C3, y d) C1, C2, C3 y C4.

Tabla 4. Campo magnético equivalente de los circuitos a) C3, b) C2 y C3, c) C1, C2, y C3, y d) C1, C2, C3 y C4 y límites Norma Argentina junto a ICNIRP.

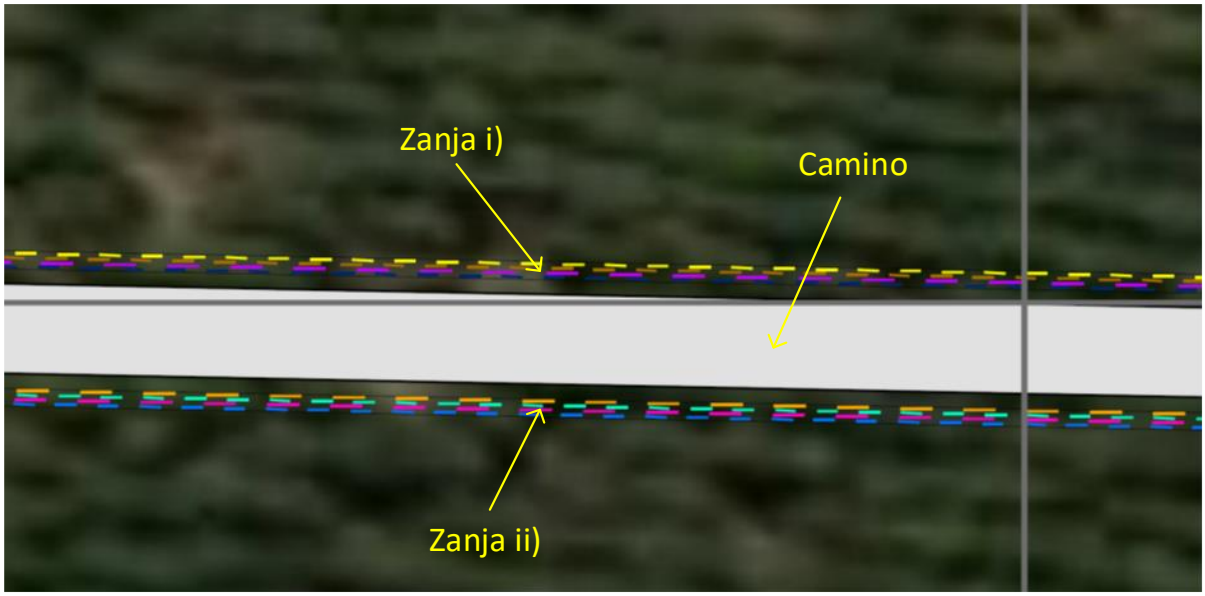
	Campo Magnético Máximo	**Magnitud rms [µT]**	**Límite Argentina [µT]**	**Límite ICNIRP [µT]**	**Evaluación Normativa**
a)	C3	0,998	25	100	Cumple
b)	C2 y C3	1,965			Cumple
c)	C1, C2 y C3	2,924			Cumple
d)	C1, C2, C3 y C4	4,068			Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el perfil de campo magnético producido, para las distintas agrupaciones de circuitos, cumple holgadamente los límites recomendados para personas que eventualmente puedan quedar expuestas sobre la zanja.

D.1.3.2. Dos Zanjas en paralelo a caminos.

Las zanjas se encuentran separadas 9 metros por los caminos intraparque, como se puede ver en la **Figura 8**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Esquema de zanjas en paralelo a camino. Donde las líneas punteadas de colores corresponden al cableado de cada circuito.

Los circuitos se encuentran enterrados a 1000 mm bajo el nivel del suelo respectivamente, y a una distancia horizontal entre ellos de:

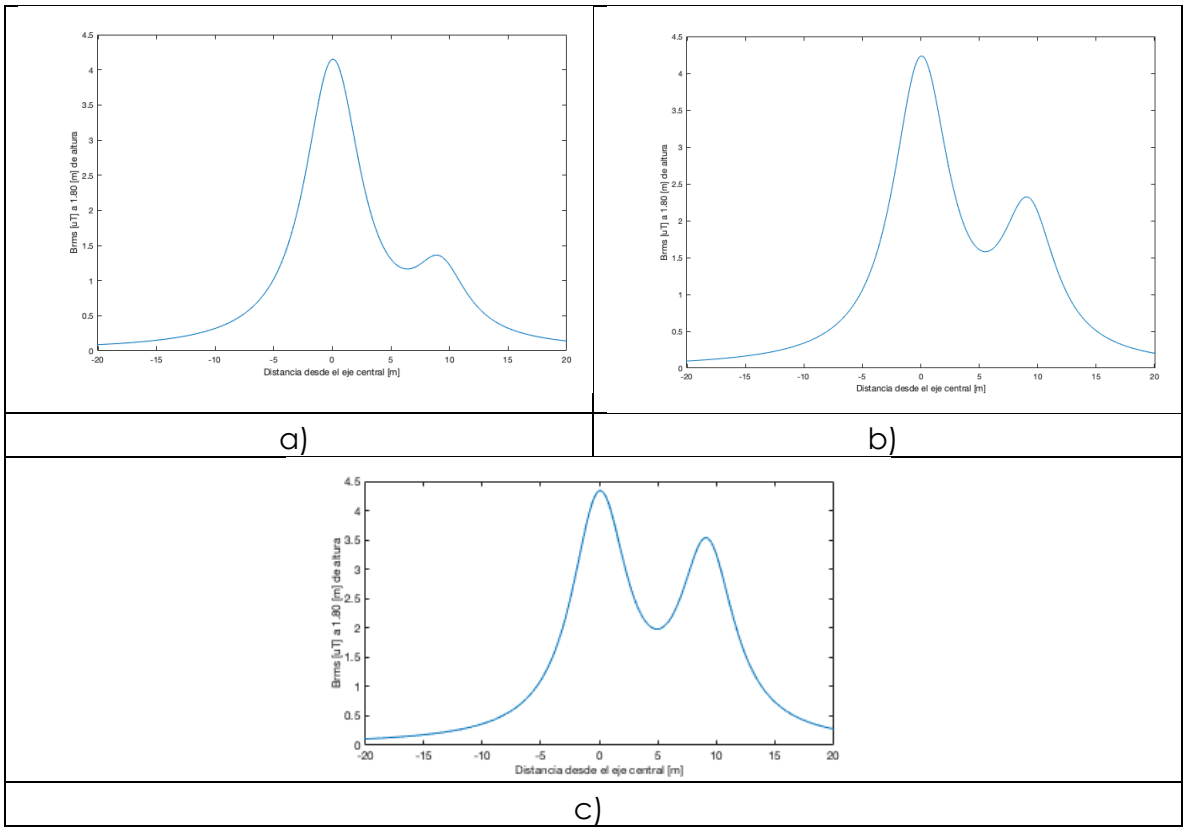
- Zanja i): Circuitos C1, C2, C3 y C4 a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 4A).
- Zanja ii):
    - Circuito C5: al centro de la zanja (Zanja Tipo 1A)
    - Circuitos C5 y C6: a 400 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 2A).
    - Circuitos C5, C6 y C7: a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 3A).

Los paralelismos de zanjas i) con ii) que se forman son los siguientes:

a. Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo al Circuito C5.
b. Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5 y C6.
c. Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6 y C7.

El perfil de campo magnético se muestra en la **Figura 9** y el valor máximo se presenta en la **Tabla 5** junto con el límite recomendado.

Para los cálculos, se utilizan las secciones de cable y potencia definidas para cada circuito en la **Tabla 3**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Perfil de campo magnético de los circuitos a) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo al Circuito C5, b) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5 y C6, c) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6 y C7.

Tabla 5. Campo magnético equivalente de los circuitos y límites Norma Argentina junto a ICNIRP.

	Campo Magnético Máximo	**Magnitud rms [μT]**	**Límite Argentina [μT]**	**Límite ICNIRP [μT]**	**Evaluación Normativa**
a)	C1, C2, C3 y C4 // C5	4,151	25	100	Cumple
b)	C1, C2, C3 y C4 // C5 y C6	4,234			Cumple
c)	C1, C2, C3 y C4 // C5, C6 y C7	4,339			Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el perfil de campo magnético producido, para las distintas agrupaciones de circuitos, cumple holgadamente los límites recomendados para personas que eventualmente puedan quedar expuestas sobre la zanja.

D.1.3.3. Interconexión de Zonas.

Para la interconexión entre la zona Este y Oeste del Parque Eólico Rinconada, se utiliza una zanja, como se puede ver en la **Figura 10**.



Fuente: Elaboración propia.

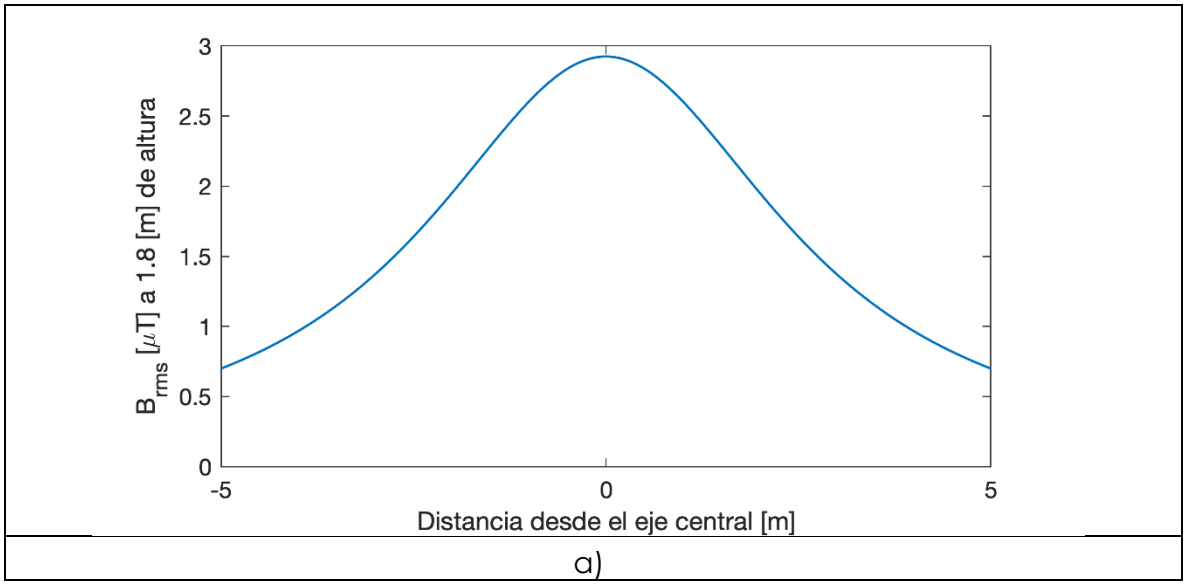
Figura 10. Esquema de zanja de interconexión de las zonas principales del Parque Eólico Rinconada.

Los circuitos se encuentran enterrados a 1000 mm bajo el nivel del suelo respectivamente, y a una distancia horizontal entre ellos de:

a. Circuitos C1, C2 y C3: a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 3A).

El perfil de campo magnético se muestra en la **Figura 11** y el valor máximo se presenta en la **Tabla 6** junto con el límite recomendado.

Para los cálculos, se utilizan las secciones de cable y potencia definidas para cada circuito en la **Tabla 3**.



a)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Perfil de campo magnético de los circuitos a) Circuitos C1, C2 y C3.

Tabla 6. Campo magnético equivalente de los circuitos a) Circuitos C1, C2 y C3 y límites Norma Argentina junto a ICNIRP.

	Campo Magnético Máximo	Magnitud rms [μT]	Límite Argentina [μT]	Límite ICNIRP [μT]	Evaluación Normativa
a)	C1, C2 y C3	2,924	25	100	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el perfil de campo magnético producido, para las distintas agrupaciones de circuitos, cumple holgadamente los límites recomendados para personas que eventualmente puedan quedar expuestas sobre la zanja.

D.1.3.4. Llegada a Subestación.

En la llegada a la subestación elevadora del Parque Eólico Rinconada, se produce un paralelismo de 2 zanjas, como se puede ver en la **Figura 12**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Esquema de zanjas en paralelo a camino. Donde las líneas punteadas de colores corresponden al cableado de cada circuito.

Dos zanjas van por el lado norte del camino de ingreso a la subestación (separadas a 1 metro) y la otra zanja va por el lado sur del camino antes mencionado.

Los circuitos se encuentran enterrados a 1000 mm bajo el nivel del suelo respectivamente, y a una distancia horizontal entre ellos de:

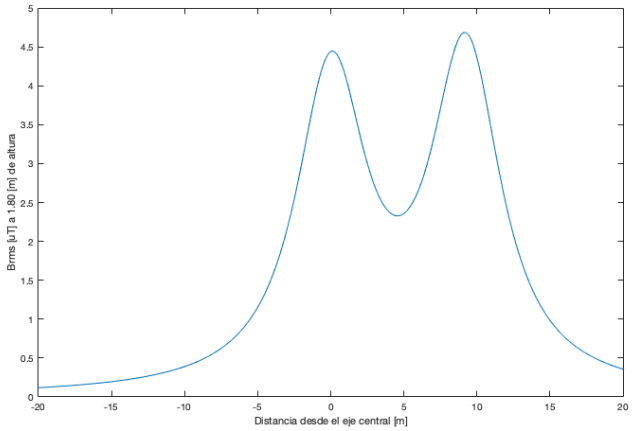
- Zanja i): Circuitos C1, C2, C3 y C4 a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 4A).
- Zanja ii): Circuitos C5, C6, C7 y C8 a 300 mm un circuito de otro (Zanja Tipo 4A).

El paralelismo que se forma entre las zanjas i), ii) y iii) es:

a. Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6, C7 y C8.

El perfil de campo magnético se muestra en la **Figura 13** y el valor máximo se presenta en la **Tabla 7** junto con el límite recomendado.

Para los cálculos, se utilizan las secciones de cable y potencia definidas para cada circuito en la **Tabla 3**.



a)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Perfil de campo magnético de los circuitos a) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6, C7 y C8.

Tabla 7. Campo magnético equivalente de los circuitos a) Circuitos C1, C2, C3 y C4 en paralelo a Circuitos C5, C6, C7 y C8 y límites Norma Argentina junto a ICNIRP.

	Campo Magnético Máximo	**Magnitud rms [µT]**	**Límite Argentina [µT]**	**Límite ICNIRP [µT]**	**Evaluación Normativa**
a)	C1, C2, C3 y C4 // C5, C6, C7 y C8	4,686	25	100	Cumple

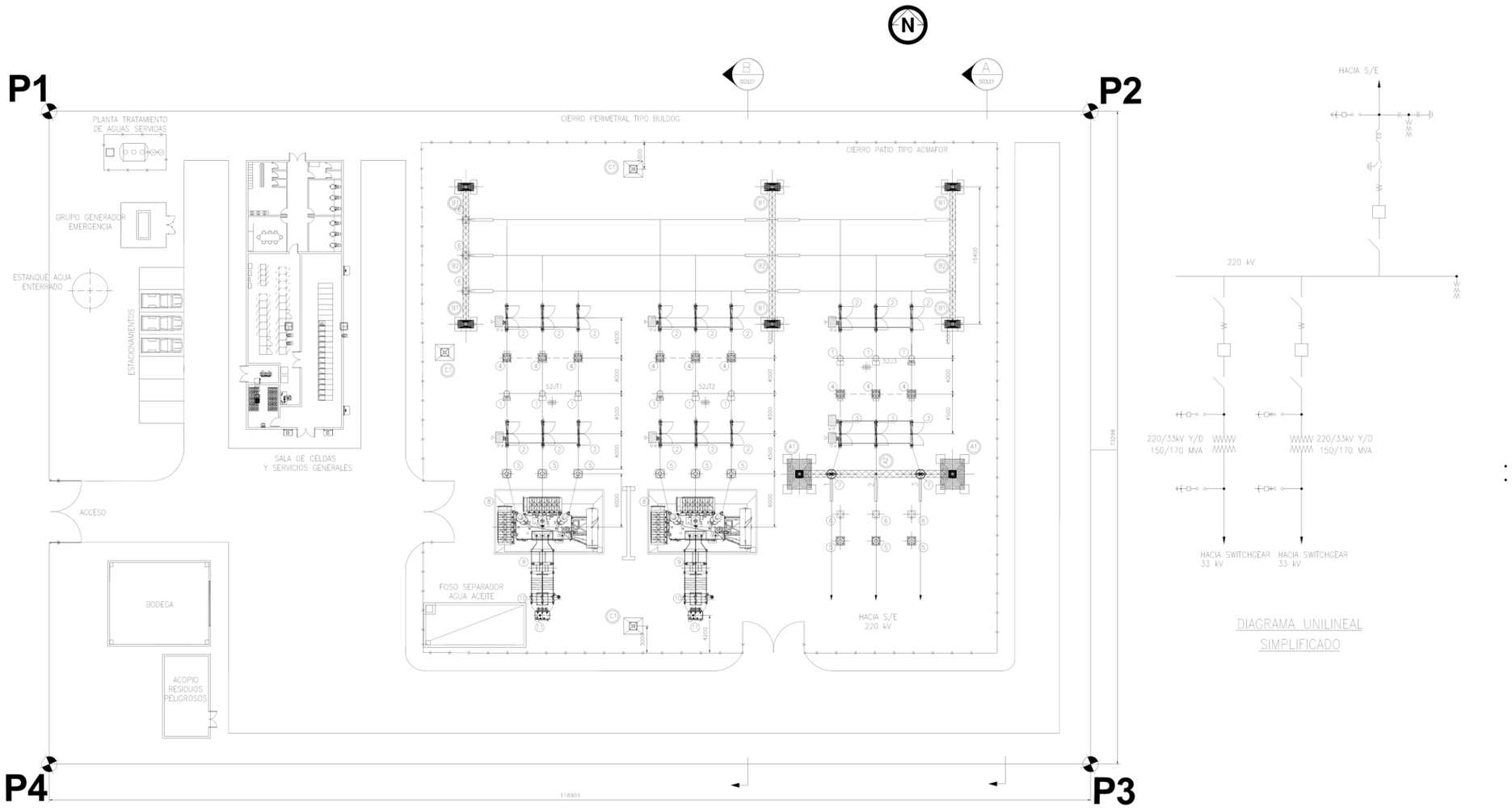
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el perfil de campo magnético producido, para las distintas agrupaciones de circuitos, cumple holgadamente los límites recomendados para personas que eventualmente puedan quedar expuestas sobre la zanja.

D.2. Campos electromagnéticos en la subestación del parque eólico.

En este apartado se entregan valores de campo eléctrico y campo magnético de frecuencia industrial, y de algunos efectos en alta frecuencia, medidos en diferentes instalaciones similares a la subestación eléctrica en estudio, cuya distribución de equipos se muestra en el plano de planta de la **Figura 14**. Esta información ha sido recopilada de informes nacionales y publicaciones internacionales principalmente.

Al interior de una subestación eléctrica, las magnitudes de campo eléctrico, campo magnético y de perturbaciones son importantes debido a la cantidad de equipos eléctricos diversos y, a la menor distancia entre conductores y de éstos últimos al suelo. Por tratarse de una fuente concentrada, la magnitud de los campos generados varía inversamente proporcional al cubo de la distancia a diferencia de lo que ocurre en la vecindad de una línea de transmisión, en que la relación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, por lo tanto, tienden a reducirse rápidamente al alejarse de la fuente.



VERTICES SUBESTACION ELEVADORA		
VERTICE	UTMWGS84 18S	
	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
P1	721064.82	5866505.69
P2	721181.72	5866505.69
P3	721181.72	5866432.4
P4	721064.82	5866432.4

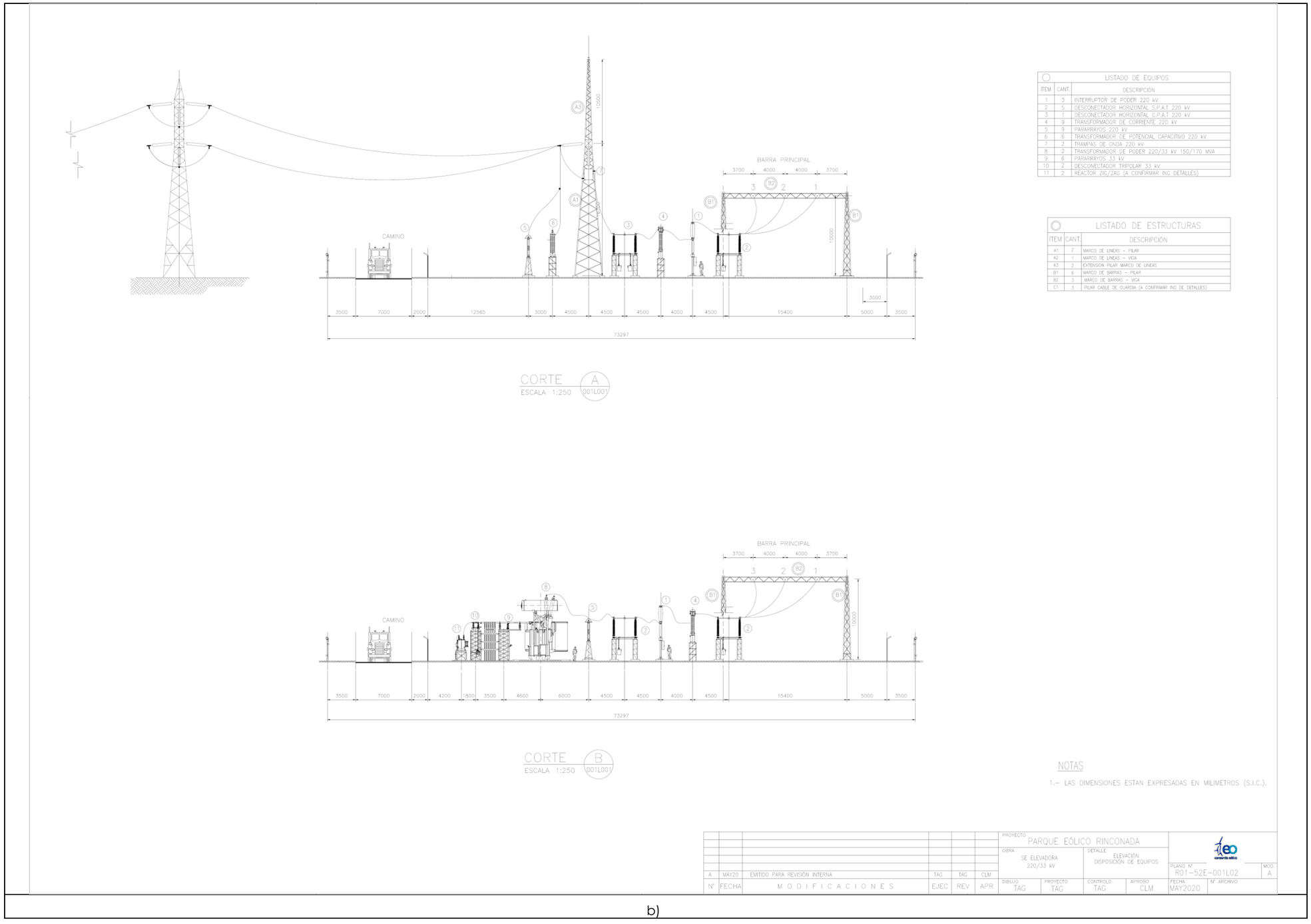
NOTAS

1.- LAS DIMENSIONES ESTAN EXPRESADAS EN MILIMETROS (S.I.C.).

Nº	FECHA	MODIFICACIONES	EJEC	REV	APR
A	MAY20	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	TAG	TAG	CLM

PROYECTO: PARQUE EÓLICO RINCONADA
OBRA: SE ELEVADORA 220/33 kV
DETALLE: PLANTA DISPOSICIÓN DE EQUIPOS
PLANO Nº: RO1-52E-001L01 | MOD: A
DIBUJO: TAG | PROYECTO: TAG | CONTROLO: TAG | APROBO: CLM
FECHA: MAY2020 | Nº ARCHIVO:

a)



b)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Esquema de la Subestación Elevadora Rinconada a) Distribución Física y b) Perfil.

D.2.1. Campo Eléctrico

El valor del campo eléctrico generado en el entorno de instalaciones eléctricas depende del nivel de voltaje, por lo tanto, en subestaciones abiertas de diseño tradicional se espera que las magnitudes de campo eléctrico que se presenten sean similares. Para el caso de la subestación en estudio, donde el principal arreglo de barras es de 220 kV, se toma como referencia valores de campo medidos en subestaciones del mismo nivel de voltaje. Para subestaciones abiertas de diseño convencional, el nivel de voltaje determina las distancias de aislación en aire desde un conductor energizado hacia otros conductores energizados, hacia estructuras y tierra. Estas distancias se encuentran reglamentadas por NSEG 5 E.n. 71 Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes.

Para investigar sus efectos, se acostumbra a caracterizar al campo eléctrico generado por una instalación de alta tensión por el concepto "campo eléctrico a nivel del suelo", que corresponde al campo eléctrico medido o calculado a 1 metro de altura sobre el suelo.

A continuación, se entregan valores medidos de campo eléctrico en instalaciones de 220 kV.

D.2.1.1. Medidas Nacionales

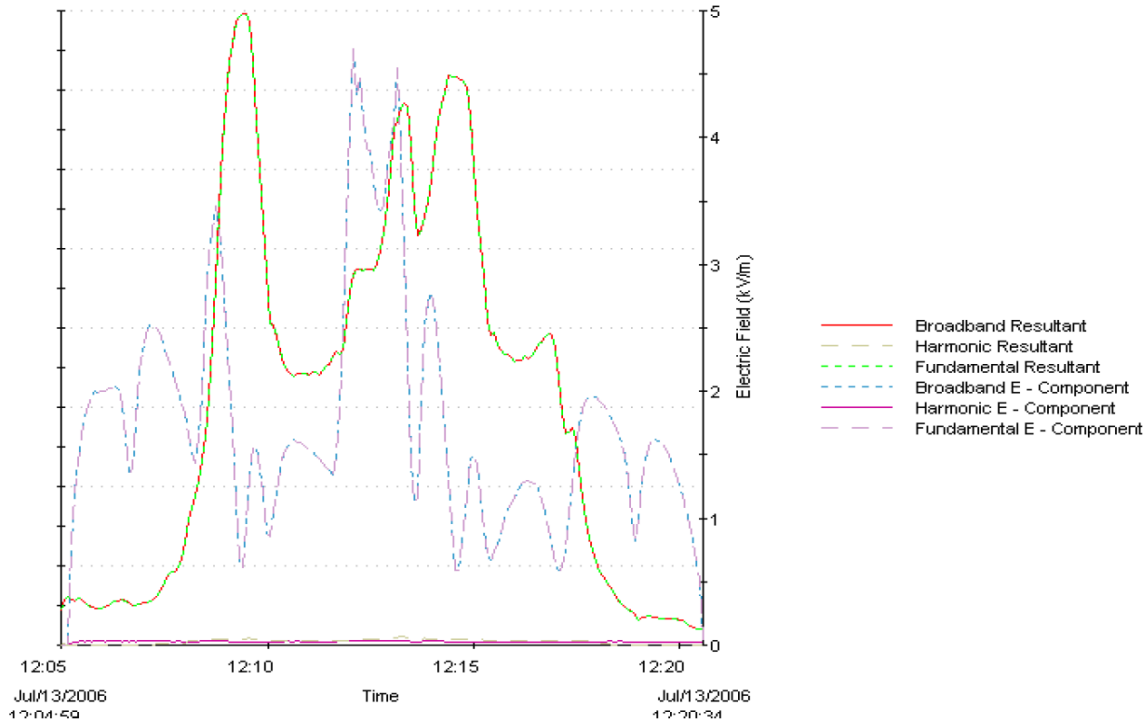
Las **Figura 15**, **Figura 16** y **Figura 17** muestran los valores medidos en la S/E ANDES de 345/220 kV de AES Chile [3].

La **Figura 15** muestra la dirección de medida transversal en un patio de 220 kV. La **Figura 16** muestra los valores obtenidos en la medida transversal en el patio de 220 kV y la **Figura 17** los valores obtenidos en la medida efectuada en el perímetro de la subestación.



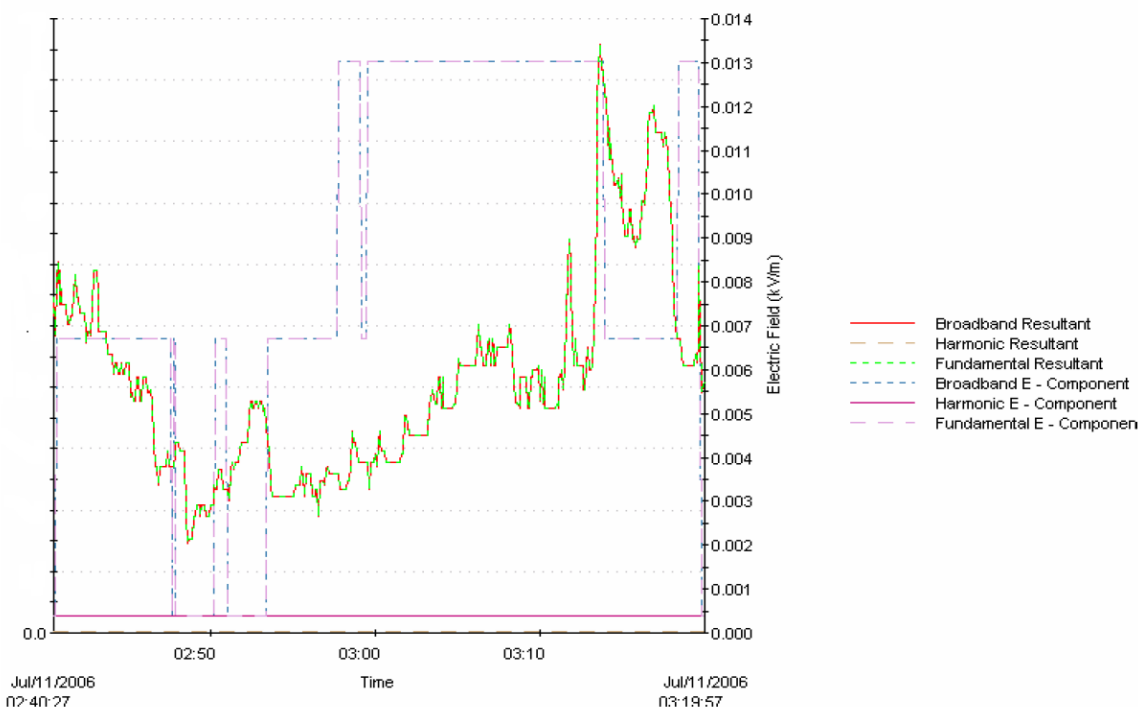
Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Lugar de medida en patio de 220 kV.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Campo eléctrico en dirección transversal del patio de 220 kV.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Campo eléctrico en el perímetro del patio de 220 kV.

De las **Figura 16** y **Figura 17** se observa que en el interior de la instalación se alcanza valores cercanos a 5 kV/m y los valores de campo eléctrico en el borde de la subestación no superan los 100 V/m.

D.2.1.2. Medidas Internacionales

Del documento Evaluación de campos eléctricos y magnéticos en instalaciones de la Administración Nacional de Electricidad – ANDE [4] se extrae la **Tabla 8**, que indica los valores de campo medidos en líneas de transmisión y estaciones transformadoras (ET) de diferentes voltajes de la Zona Metropolitana de la ciudad de Asunción, Paraguay.

Tabla 8. Valores medidos de campo eléctrico en estaciones transformadoras.

Lugar	E [kV/m]
Interior de ET 220/66 kV (lado de 220 kV)	5,2
Interior de ET 66/23 kV (lado de 66 kV)	0,32
Debajo de Línea de 220 kV	1,8
Debajo de Línea de 60 kV	0,47

Fuente: Elaboración propia.

De la **Tabla 8** interesan los valores informados en subestaciones de 220 kV, similar a la subestación del Parque Eólico Rinconada de acuerdo con lo señalado en el numeral D.2.1. se confirma que los valores de campo eléctrico en el interior de la subestación son similares a los medidos en Chile, en torno a 5 kV/m, y que éstos decaen conforme al nivel de voltaje y también al salir de la subestación.

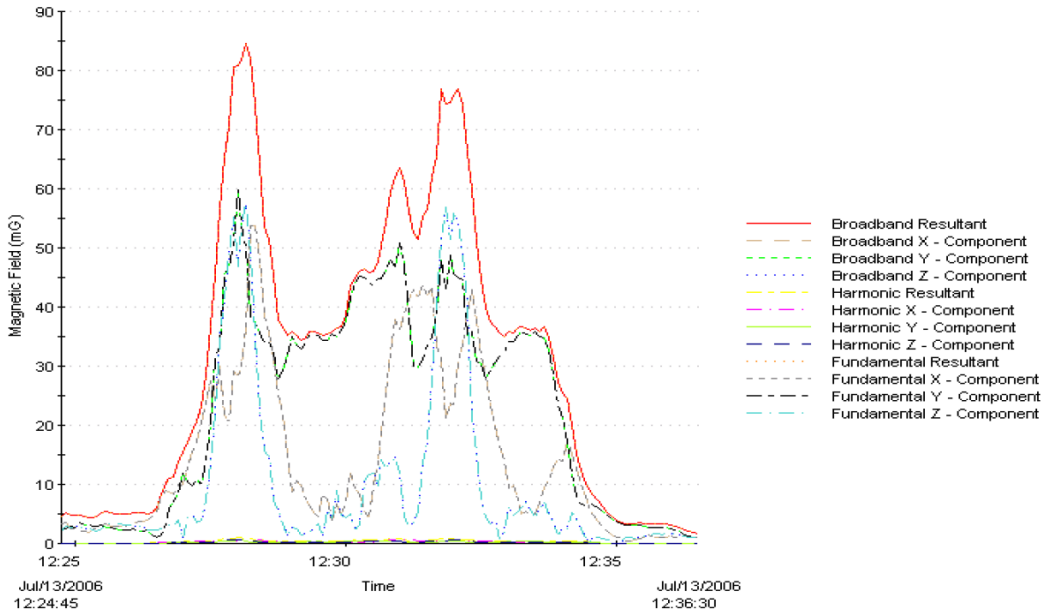
D.2.2. Campo Magnético

En los siguientes apartados se entregan valores medidos de campo magnético en diferentes instalaciones similares al caso de estudio.

En una subestación existe una compleja concentración de fuentes de campo magnético de pequeña o gran extensión y orientadas en distintas direcciones. Es preciso reiterar que el campo magnético es producido por la circulación de corriente y no depende del nivel de voltaje, sino de la potencia instalada.

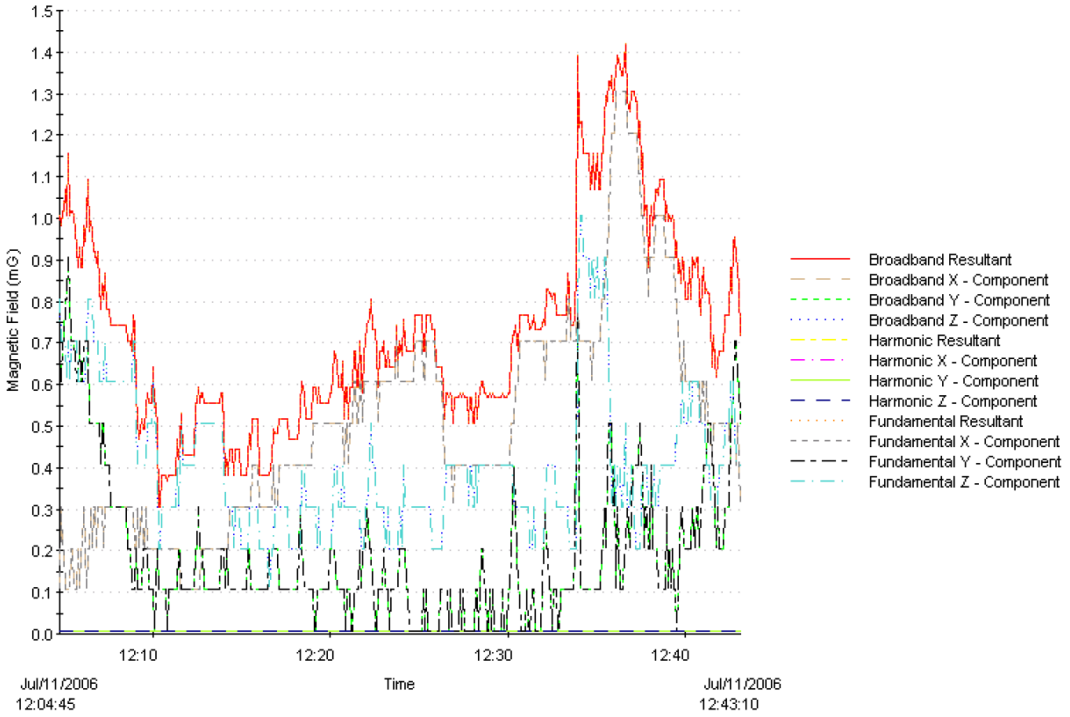
D.2.2.1. Medidas Nacionales

En las **Figura 18** y **Figura 19** se muestran los valores medidos en la S/E ANDES de 345/220 kV de AES Chile. En la **Figura 18** se muestra una dirección de medida transversal a un patio de 220 kV y la **Figura 19** representa una medida en el perímetro de la subestación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Campo magnético al interior de una subestación de 220 kV.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Campo magnético en el perímetro de una subestación de 220 kV.

De la **Figura 18** se observa que los valores de campo magnético en los extremos del eje horizontal, correspondiente a los bordes de la subestación, se reduce considerablemente. En las **Figura 18** y **Figura 19**, se observa que, en el perímetro de la subestación, la inducción magnética no sobrepasa los 5 mili Gauss (0,5 µT).

D.2.2.2. Medidas Internacionales

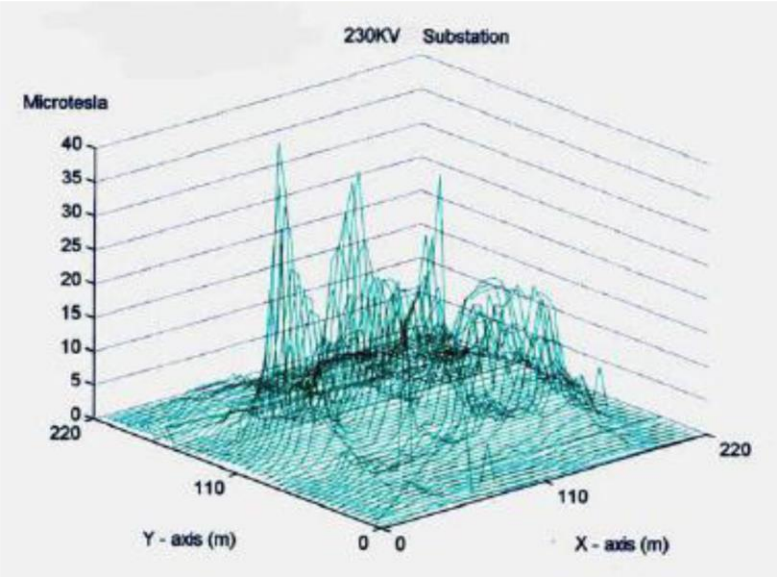
Del documento Magnetic Field Measurement & Simulation of A 230 kV Substation [6] se comparan valores de campo magnético medido y calculado en una subestación de 220 kV con cuatro líneas, en Arabia Saudita (la referencia no indica el nombre de la subestación), registrando las potencias mostradas en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Potencias registradas en la línea de la subestación.

LT N°	Carga (MW)
1	402,3
2	289,9
3	334,5
4	172,2

Fuente: Elaboración propia.

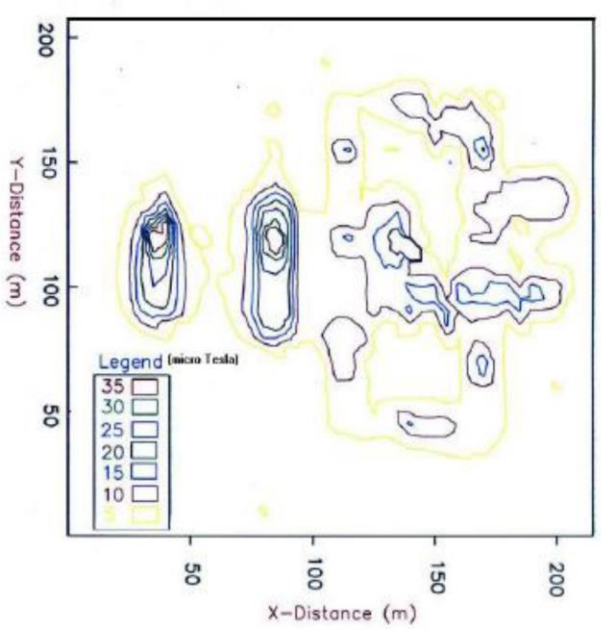
La **Figura 20** muestra el diagrama de valores medidos de campo magnético.



Fuente: Elaboración propia.

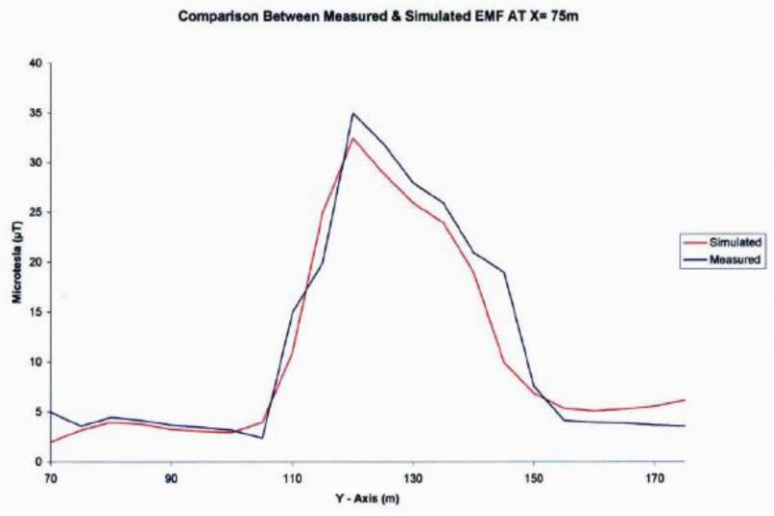
Figura 20. Campo magnético medido en subestación de 230 kV.

Los valores máximos en el interior bordean los 40 µT, pero se observa que, en el perímetro de la subestación, el campo magnético se reduce drásticamente. Este comportamiento es confirmado por el mapa de líneas de campo mostrado en la **Figura 21** y en el perfil en la posición x = 75 m mostrado en la **Figura 22**.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Mapa de líneas de campo.

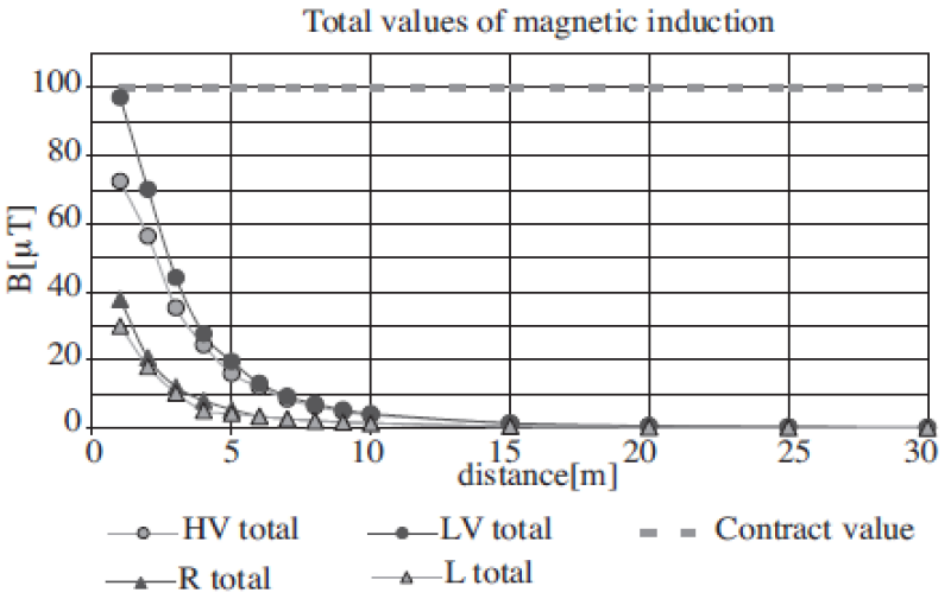


Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Perfil de campo magnético medido y simulado en eje x= 75 m.

Los valores máximos en el interior bordean los 40 µT, pero se observa que, en el perímetro de la subestación, el campo magnético se reduce drásticamente a valores inferiores a 5 µT**.**

Del documento *Analysis of radio interference and substation modifications for uprating a 115-KV substation to 230 KV* [5] se extrae el gráfico de la siguiente figura, que muestra cómo se comporta el campo magnético fuera de un transformador de 220 MVA, 240 kV.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Inducción magnética fuera de un transformador de 220 MVA, 240 kV.

En la **Figura 23** se aprecia que a pesar de ser intenso el campo magnético, en la vecindad inmediata del transformador su decaimiento es rápido, de modo que en un radio de 10 m ya el efecto prácticamente no es relevante. Por lo tanto, esta fuente no es significativa para el impacto ambiental fuera de las subestaciones.

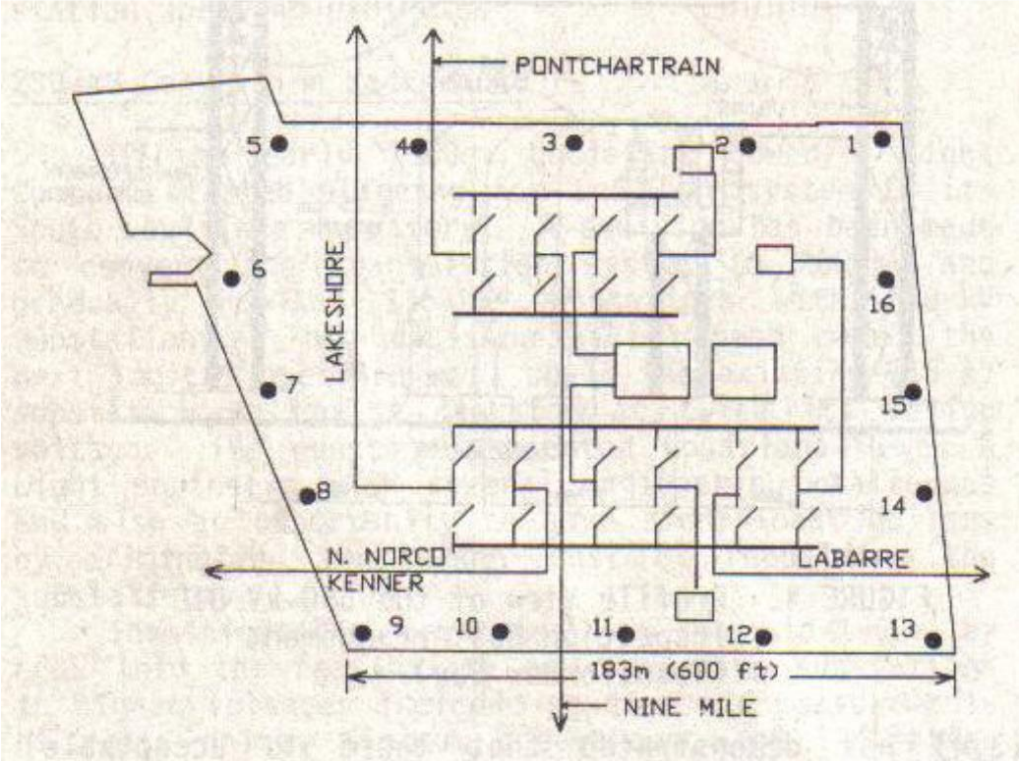
D.2.2.3. Radio Interferencia

La radio interferencia es generada por el fenómeno corona, el cual depende directamente de la magnitud de campo eléctrico presente en la superficie de los conductores de alta tensión, válido tanto para líneas como para subestaciones, pues en ambas instalaciones se utilizan conductores desnudos. A su vez, este campo eléctrico superficial es directamente proporcional al nivel de voltaje de la

instalación. En consecuencia, se espera que la mayor fuente de generación de radio interferencia corresponda a los conductores del patio de 220 kV.

Del documento *Analysis of radio interference and substation modifications for uprating a 115-KV substation to 230 KV* [5] se informa de medidas efectuadas en una subestación, Snakefarm, que opera en 230 kV. El campo eléctrico en la superficie de los conductores (y por lo tanto el fenómeno corona) se manifestará en forma similar a la subestación del Parque Eólico Rinconada, dado el nivel de voltaje similar.

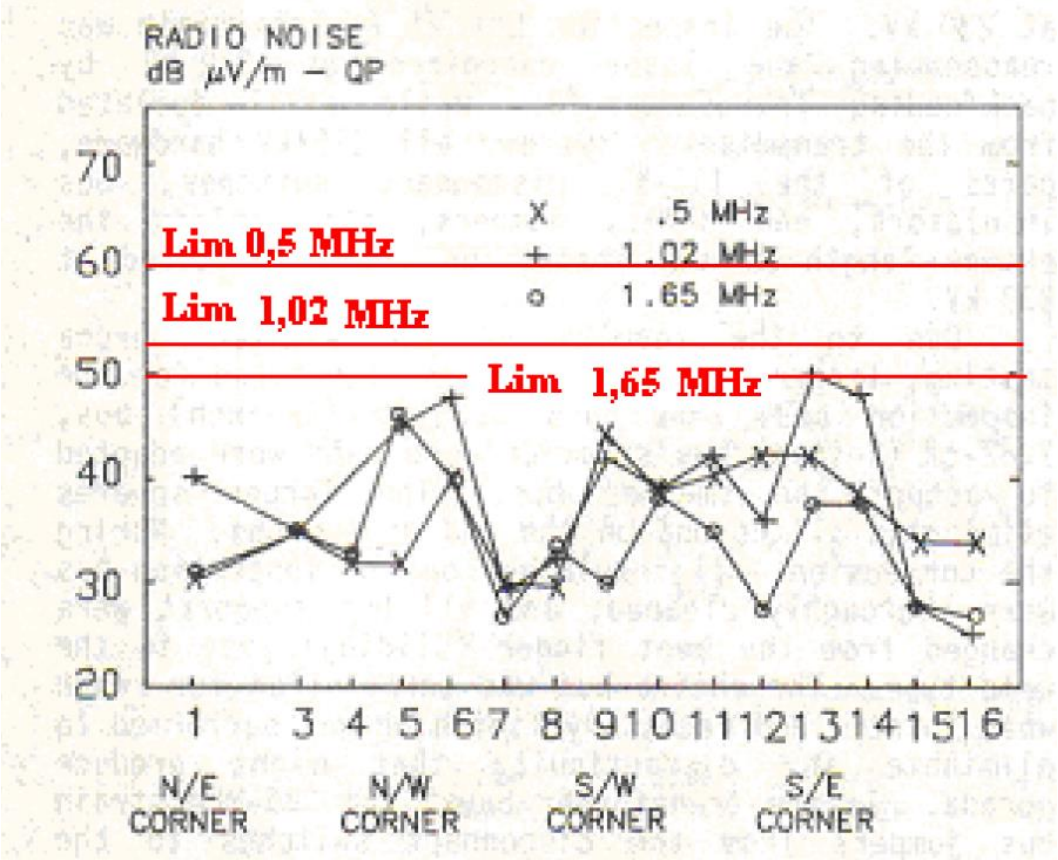
La **Figura 24** indica el esquema de la subestación y los puntos de medida de radio interferencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Esquema de la subestación Snakefarm de 230 KV y puntos de medida de radio interferencia.

La medida de radio interferencia a distintas frecuencias entrega los valores mostrados en la **Figura 25**. Se incluye en la figura los límites de radio interferencia, trasladados a distintas frecuencias, aplicando la relación de transformación:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Radio interferencia medida en los diferentes puntos de borde de la subestación Snakefarm de 230 kV. Se incluye límites.

De la información anterior se observa que, en el caso de una subestación de diseño convencional de 230 kV, el nivel de radio interferencia generado en condiciones de buen y mal tiempo no supera los límites máximos tolerables, específicamente 53 [dB/µV/m] a 1,0 MHz, en el contorno de la subestación.

D.3. Campos electromagnéticos en la línea de transmisión de 220 kv del parque eólico.

Los cálculos, para la línea de transmisión 1x220 kV de Parque Eólico Rinconada, utilizando un análisis bidimensional (ver **Apéndice 1** y **Apéndice 2**). Se evalúan las inducciones electromagnéticas a 1,8 m de altura desde el suelo considerando el ancho de la franja de servidumbre de 40 metros. La altura de 1,8 m, a la que se realizan los cálculos, se debe a que la fuente se encuentra a una altura mayor y es de interés conocer los niveles de exposición de las personas sobre cualquier parte del cuerpo. Si se considera una altura inferior, aumenta la distancia desde los cables de la línea de transmisión, por lo que se obtendrán resultados cuya magnitud será menor.

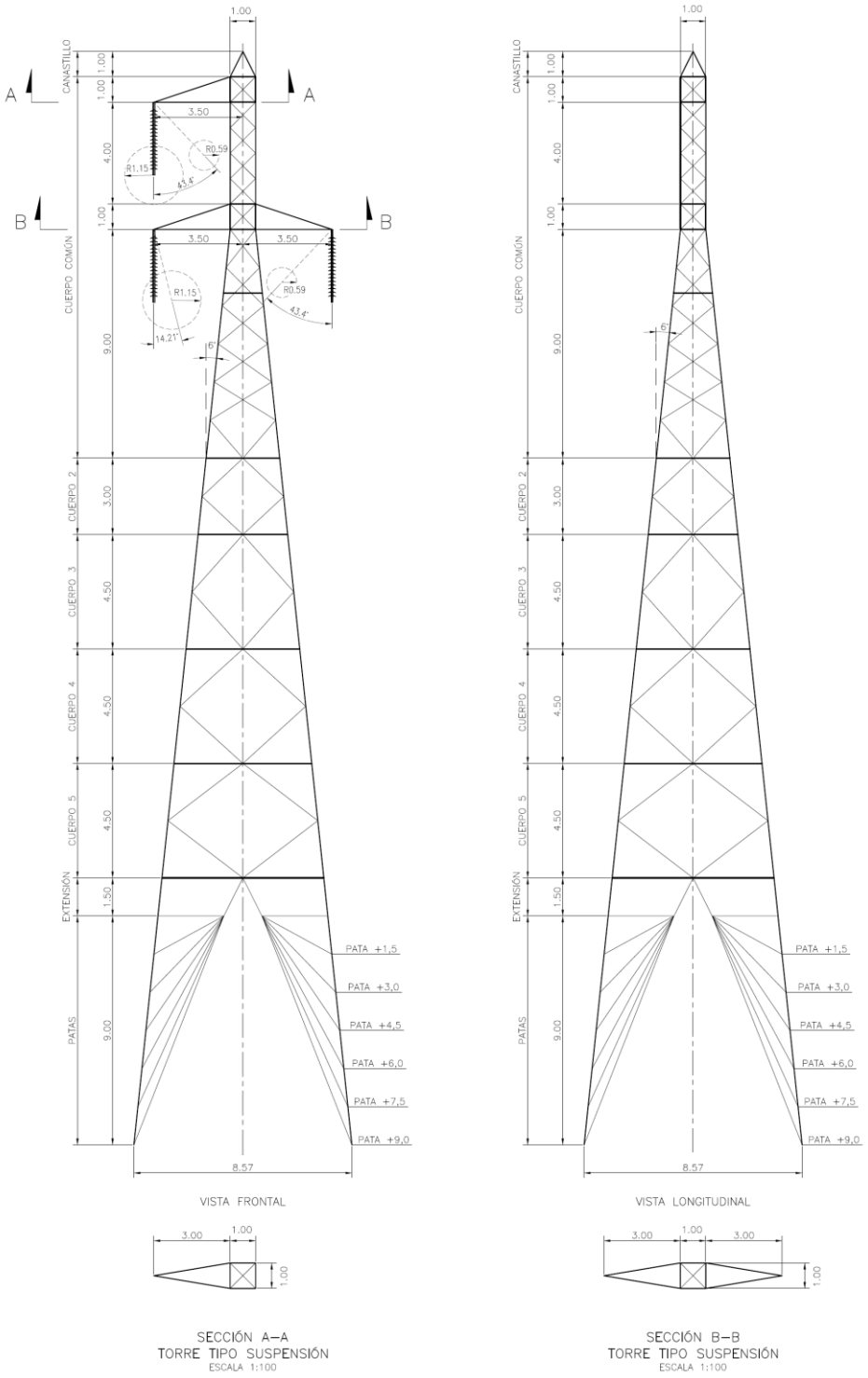
El cálculo se ha realizado para el tramo más desfavorable por diseño, el cual al vano entre las estructuras de suspensión T13 y T14, es igual a 9,35 metros.

La línea de transmisión tiene las características eléctricas presentadas en la **Tabla 10** y las características geométricas de las estructuras se muestran en la **Figura 26, Figura 27** y **Figura 28**.

Tabla 10. Características eléctricas de línea de transmisión.

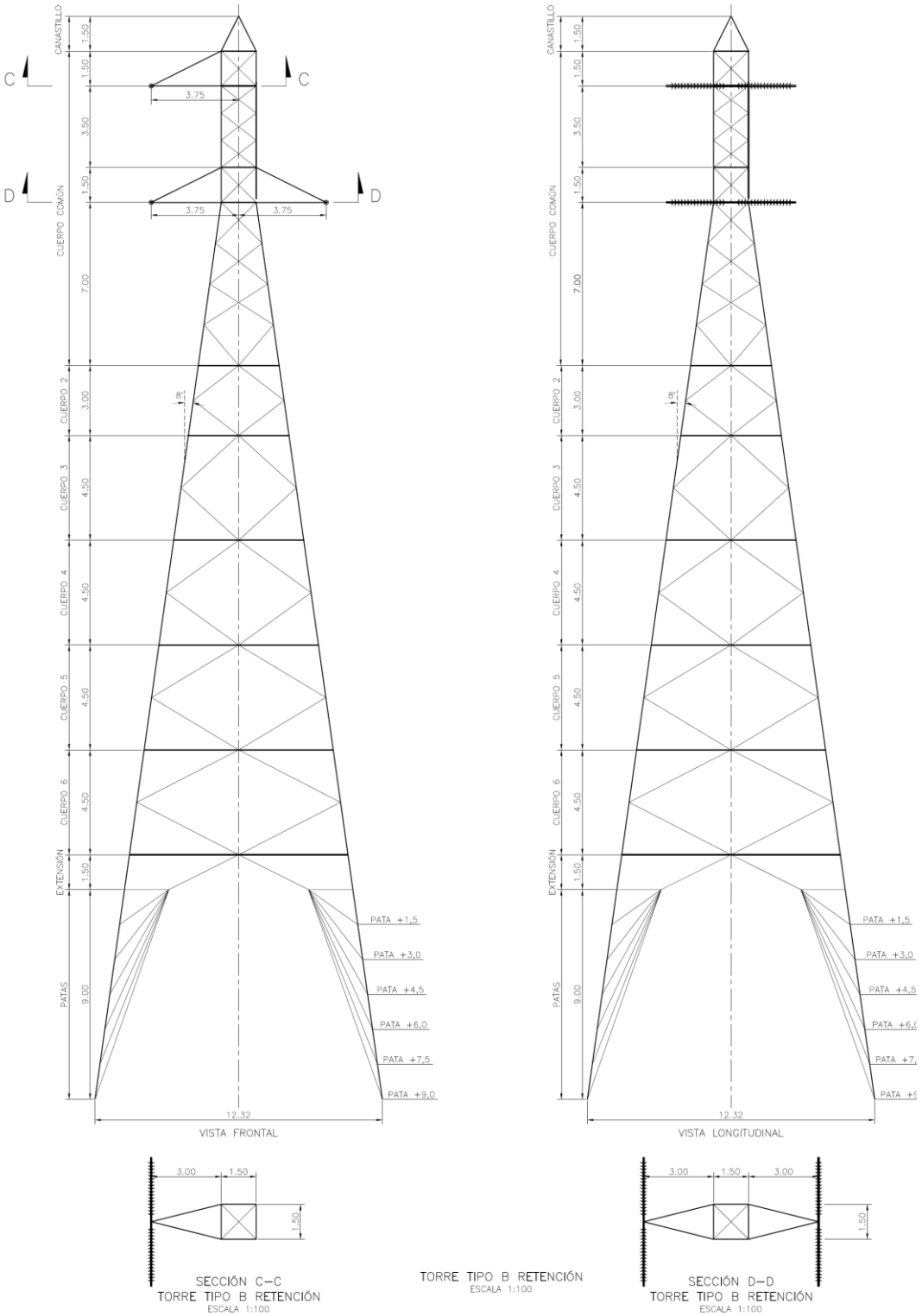
Descripción	Unidad	Valor
Nivel de tensión	kV	220
Potencia nominal	MVA	320
Número de circuitos	-	1
Cantidad de conductores por fase	-	1
Requerimiento de corriente	A	839,79
Conductor de fase	-	ACAR 900 kcmil (18/19)
Capacidad térmica del conductor a 80°C	A	863,53
Normas de fabricación del conductor	-	ASTM B230, ASTM B398, ASTM B524
Número total de hilos del conductor	-	37
Número de hilos de aluminio	-	18
Número de hilos de aleación de aluminio	-	19
Diámetro de los hilos del conductor	mm	3,962
Diámetro del conductor	mm	27,73
Peso unitario del conductor	kg/km	1255
Tensión de rotura del conductor	kg	10282

Fuente: Elaboración propia.



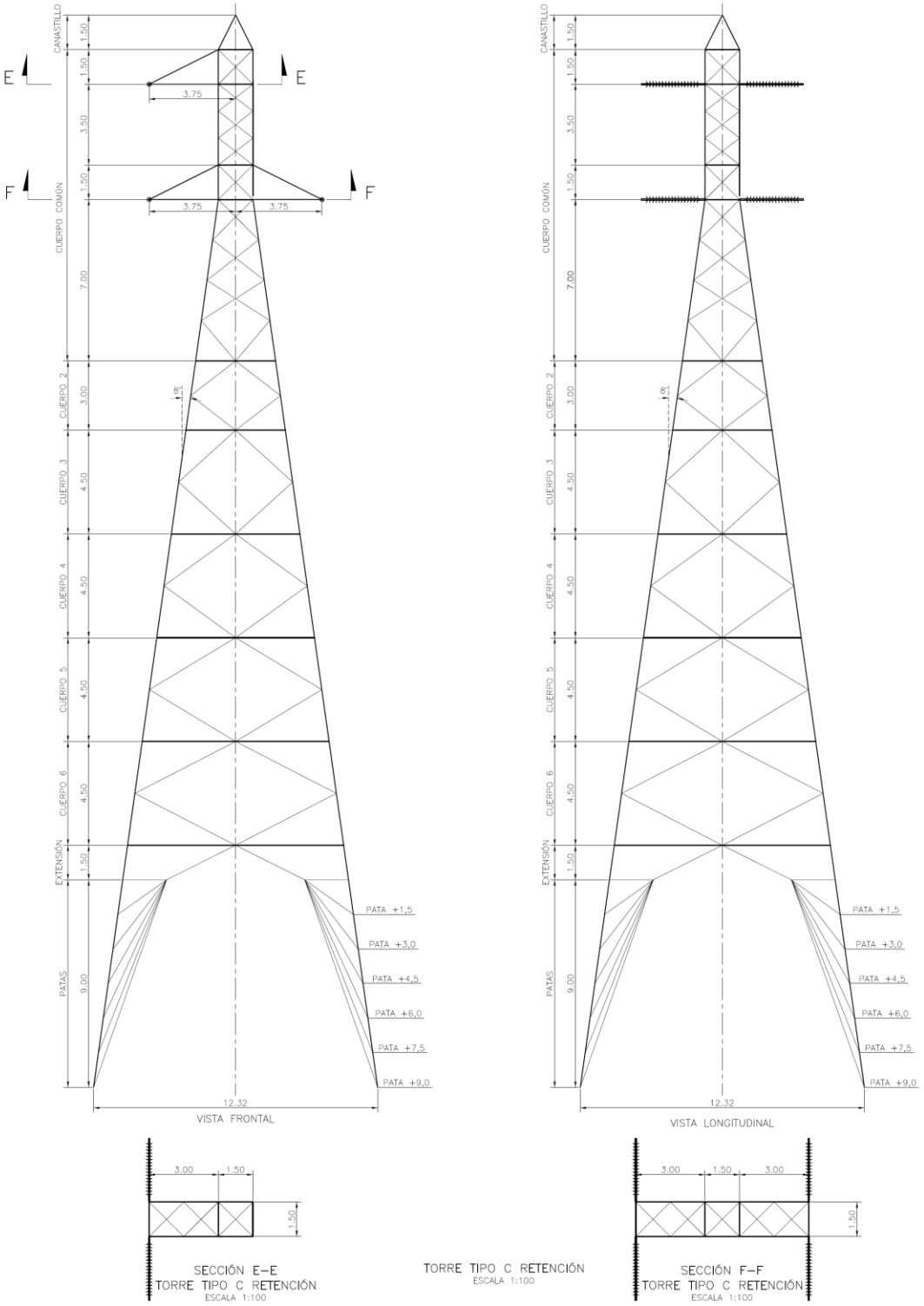
Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Geometría de Torre de Suspensión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Geometría de Torre Retención Tipo B.

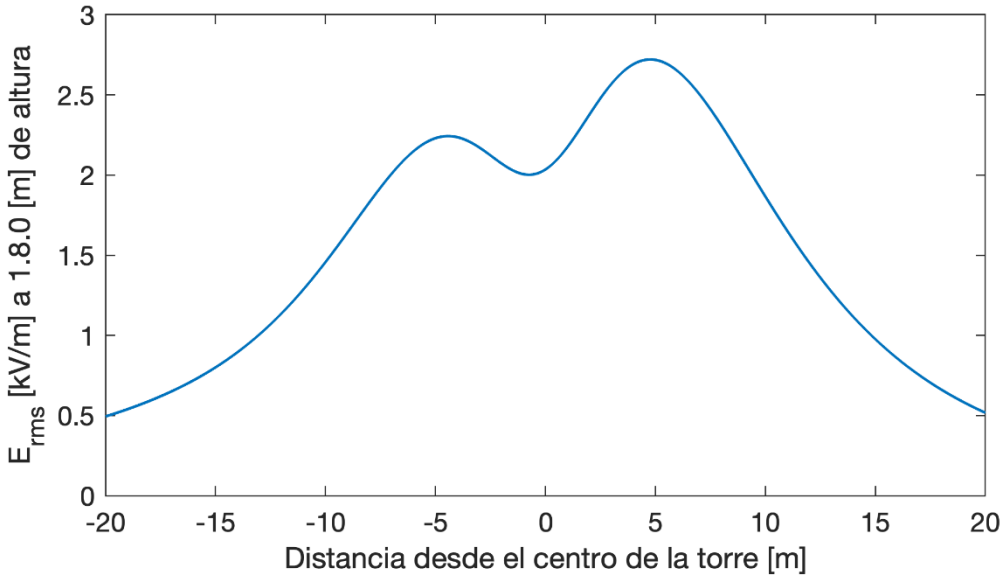


Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Geometría de Torre Retención Tipo C.

D.3.1. Cálculo de Campos Eléctricos

El perfil de campo eléctrico para la línea de transmisión se muestra en la **Figura 29** y los valores más importantes se presentan en la **Tabla 11** junto con el límite recomendado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Perfil de campo eléctrico de línea transmisión 1x220 kV a través de la franja de servidumbre a 1,8 m de altura.

Tabla 11. Campo eléctrico de línea de transmisión 1x220 kV a 1,8 m de altura y límites de la norma Argentina junto a ICNIRP.

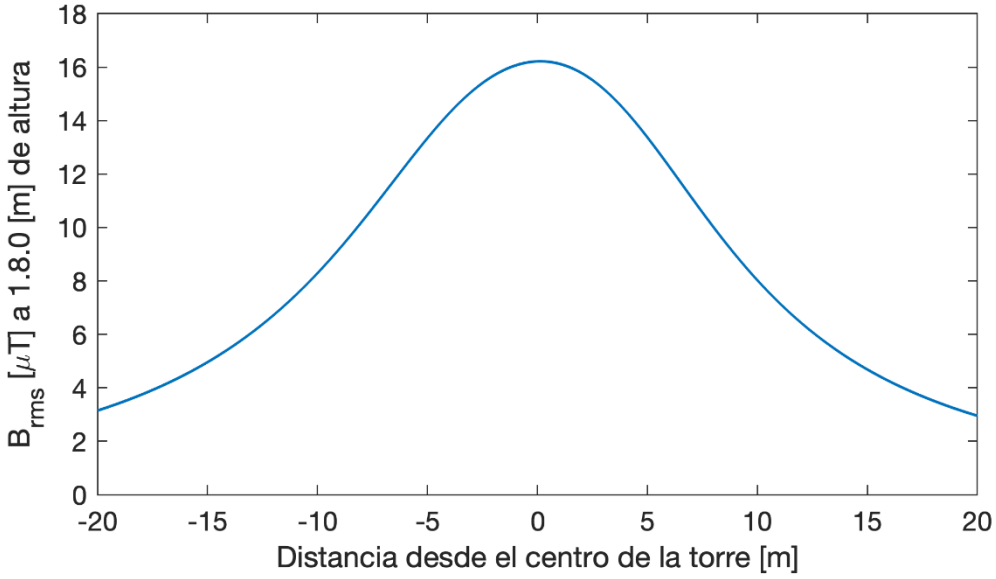
Campo eléctrico	Magnitud rms [kV/m]	Límite Argentina [kV/m]	Límite ICNIRP [kV/m]	Evaluación Normativa
Valor Máximo	2,721	3,0	5,0	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados mostrados en la **Figura 29** así como los datos presentados la **Tabla 11** permiten concluir que el campo eléctrico dentro de la franja de servidumbre de la línea de transmisión cumple con los límites recomendados para personas que eventualmente puedan estar expuestas directamente bajo la línea.

D.3.2. Cálculo de Campos Magnéticos

El perfil de campo magnético para la línea de transmisión se muestra en la **Figura 30** y los valores más importantes se presentan en la **Tabla 12** junto con el límite recomendado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Perfil de campo magnético de la línea de transmisión 1x220 kV a través de la franja de servidumbre a 1,8 m de altura.

Tabla 12. Campo magnético de la línea de transmisión 1x220 kV a 1,8 m de altura y límites de la norma Argentina junto a ICNIRP.

Campo eléctrico	Magnitud rms [μT]	Límite Argentina [μT]	Límite ICNIRP [μT]	Evaluación Normativa
Valor Máximo	16,22	25	100	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados mostrados en la **Figura 30** y los datos presentados en la **Tabla 12** permiten concluir que el campo magnético dentro de la franja de servidumbre de la línea de transmisión cumple con los límites recomendados para personas que eventualmente puedan estar expuestas bajo la línea.

E. CONCLUSIONES

Los valores calculados de campo magnético producidos por la red de media tensión, en cableado subterráneo, del Proyecto Parque Eólico Rinconada en 33 kV cumple los límites recomendados por la normativa argentina [1] y por el ICNIRP [2], por lo que la operación de los distintos grupos de circuitos de aerogeneradores no representa riesgo para las personas que puedan quedar expuestas dentro de la franja de servidumbre. El valor máximo de campo magnético es 4,686 μT (**Figura 13**), teniéndose límites recomendados de 25 μT (Norma Argentina) y 100 μT (ICNIRP). En zonas alejadas de la franja de servidumbre, la inducción magnética producida por el cableado subterráneo es incluso menor.

De la información recogida en la investigación bibliográfica referente a efectos electromagnéticos en baja frecuencia y radio frecuencia provocados por subestaciones de voltaje y potencia similares a la subestación del Proyecto Parque Eólico Rinconada [3] [4], se tiene que la magnitud de campo eléctrico existente a un metro de altura sobre el suelo en el borde inmediato de subestaciones de 220 kV no superan 0,1 kV/m (**Figura 17**), por tanto, no representan ningún riesgo para personas dado que son muy inferiores al límite de 3 kV/m considerado en las recomendaciones más exigentes como la norma Argentina [1], referida a público general, como un valor seguro para público general y exposición permanente. Estos valores son además fuertemente mitigados por la presencia de estructuras, reduciéndose notablemente hacia el exterior.

La magnitud de campo magnético máximo existente a un metro de altura sobre el suelo en el borde inmediato de subestaciones con potencias similares a la subestación analizada [3] [4] [6], no supera los 5 μT (**Figura 22**), resultado que no representa ningún riesgo para personas, por cuanto es inferior al límite de 25 μT considerado como seguro en algunos países de reglamentación más estricta (norma Argentina, público general).

El máximo ruido de radio frecuencia (interferencia a las señales de radio y televisión) generado por una subestación similar en niveles de voltaje máximo [5], en condiciones de buen y mal tiempo, es inferior al máximo propuesto como valor recomendado en ambiente industrial a distintas frecuencias, por lo que se espera que el nivel de radio interferencia causado por la subestación esté bajo los límites recomendados de 53 [dB/μV/m] a 1,0 MHz (Association Canadienne de Normalisation).

Los valores calculados de campo eléctrico y magnético producidos por la línea de transmisión 1x220 kV Rinconada cumplen los límites recomendados por la normativa Argentina [1] y por el ICNIRP [2], por lo que la operación de la línea no representa riesgo para las personas que puedan quedar expuestas dentro de la franja de servidumbre de 40 metros.

El valor máximo de campo eléctrico obtenido es 2,721 kV/m (**Figura 29**), cuyo límite recomendado por la norma Argentina es 3,0 kV/m. Por otra parte, el valor máximo obtenido de campo magnético es 16,22 µT (**Figura 30**), teniéndose límites recomendados de 25 µT (norma Argentina) y 100 µT (ICNIRP). En zonas alejadas de la franja de servidumbre, la inducción electromagnética producida por la línea es considerablemente menor, dado que estos dependen directamente de la distancia a la que se encuentre la fuente emisora, tal como se puede observar en las **Figura 29** y **Figura 30** donde se muestra que el campo eléctrico máximo al interior de la franja de servidumbre es de 2,721 kV/m y en el borde de esta ya es 0,5 kV/m (disminuyendo a un 18% en 20 metros de alejados de la fuente emisora) y el campo magnético máximo al interior de la franja de servidumbre es de 16,22 µT y en el borde de esta ya es 3,1 µT (disminuyendo a un 19% en 20 metros de alejados de la fuente emisora).

Es importante destacar que los valores máximos de campos electromagnéticos inducidos por la operación del Proyecto Parque Eólico Rinconada, a las distancias consideradas, son muy bajos en comparación a los límites recomendados. Los resultados obtenidos son inclusive menores a los campos magnéticos a que se ven sometidas las personas por la manipulación de artefactos eléctricos. Son de interés los valores típicos de la inducción electromagnética a que se ven sometidas las personas por la operación de artefactos eléctricos domiciliarios. Por ejemplo, mediciones experimentales a una distancia de 30 cm indican que un secador de pelo produce 80 V/m y hasta 7 µT. Una aspiradora puede emitir 50 V/m y hasta 20 µT. Es preciso señalar, que a menor distancia estas cantidades crecen, por lo tanto, las personas pueden verse sometidas a inducciones electromagnéticas mayores. A 3 cm el secador de pelo y la aspiradora pueden emitir hasta 2.000 µT y 800 µT respectivamente.

Finalmente indicar que se tienen identificados otros proyectos generadores en las cercanías al área de estudio, como la central de biomasa CMPC Laja (a 6 km del área de estudio), la hidroeléctrica de pasada Laja 1 (a 2 km del área de estudio) y el parque eólico El Maitén (a 0,5 km del área de estudio), sin embargo, estos no interceptan con el emplazamiento de las obras por lo que no se consideran dentro

del área de estudio, misma situación de los proyectos cercanos que cuentan con RCA vigente, estos son: Parque Eólico Buenaventura, Parque Eólico Campo Lindo, Parque Fotovoltaico Laja y Sistema de Transmisión Eléctrica Laja 1.

F. BIBLIOGRAFÍA

Resolución 77/98. Amplíense las condiciones y requerimientos fijados en el "Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión", Secretaria de Energía Eléctrica, 12 de marzo de 1998, Buenos Aires, Argentina.

"Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", ICNIRP, 1998.

Informe medidas efectuadas en S/E ANDES de 345/220 kV de AES Chile. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile, 2008.

Patricia Arnera, Pedro Issouribehere, et all. "Evaluación de campos eléctricos y magnéticos en instalaciones de la Administración Nacional de Electricidad – ANDE, Asunción, Paraguay. Trabajo presentado al Comité de estudio 36 en el X Encuentro Regional Latinoamericano de la CIGRE, mayo 2003, Puerto Iguazú, Argentina.

CARTER R. T. (1) ; GRILLE A. W. ; BAZILE G. M. ; PERKINS M. D. ; AUSER S. F. ; Analysis of radio interference and substation modifications for uprating a 115-KV substation to 230 KV IEEE transactions on power delivery (IEEE trans. power deliv.) 1987, vol. 2, no2, pp. 544-550.

I.O. Habiballah, M.M. Dawoud, K. Al-Balawi, A.S. Farag "Magnetic Field Measurement & Simulation of A 230 kV Substation" Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003) Electromagnetic Fields and Our Health 20th – 22nd October 2003.

APÉNDICE 1. MÉTODO DE CÁLCULO DE CAMPO MAGNÉTICO

El cálculo del campo magnético (B) se realiza a través de un análisis bidimensional considerando conductores paralelos sobre un terreno plano. Este análisis establece las componentes del campo magnético en un plano bidimensional (x, y) producido por una corriente circulando en el eje z paralelo al conductor como se indica en las expresiones (**A.1.1**) y (**A.1.2**).

$$B_X(x,y) = -\sum_{k=1}^{n} \mu \frac{i_k (y - y_k)}{2\pi \left[(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2 \right]} \qquad \textbf{(A.1.1)}$$

$$B_Y(x,y) = \sum_{k=1}^{n} \mu \frac{i_k (x - x_k)}{2\pi \left[(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2 \right]} \qquad \textbf{(A.1.2)}$$

Donde,

k:	k-ésimo conductor hasta *n*.
x_k:	Posición del k-ésimo conductor en el eje x.
y_k:	Posición del k-ésimo conductor en el eje y.
μ:	Permeabilidad magnética del material (típicamente $\mu = 4\pi x10^{-7}[H/m]$).
i_k:	Corriente eléctrica asociada al k-ésimo conductor.

En este análisis no se considera la corrección de Carson por tratarse de evaluaciones dentro de una zona próxima a la fuente que emite el campo magnético.

APÉNDICE 2. MÉTODO DE CÁLCULO DE CAMPO ELÉCTRICO

Para el cálculo del campo eléctrico (E) se utiliza el método de las imágenes. Este método establece las componentes del campo eléctrico en un plano bidimensional (x, y) como se indica en las expresiones (**A.2.1**) y (**A.2.2**).

$$E_X(x,y)=\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{q_k(x-x_k)}{2\pi\varepsilon\left[(x_k-x)^2+(y_k-y)^2\right]}-\frac{q_k(x-x_k)}{2\pi\varepsilon\left[(x_k-x)^2+(y_k+y)^2\right]}\right) \qquad \textbf{(A.2.1)}$$

$$E_Y(x,y)=\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{q_k(y-y_k)}{2\pi\varepsilon\left[(x_k-x)^2+(y_k-y)^2\right]}-\frac{q_k(y-y_k)}{2\pi\varepsilon\left[(x_k-x)^2+(y_k+y)^2\right]}\right) \qquad \textbf{(A.2.2)}$$

Donde,

k: k-ésimo conductor hasta n

x_k: Posición del k-ésimo conductor en el eje x.

y_k: Posición del k-ésimo conductor en el eje y.

ε: Permitividad del material (típicamente $\varepsilon = 8{,}85\text{x}10^{-12}[F/m]$).

q_k: Carga eléctrica asociada al k-ésimo conductor.

La carga eléctrica (Q) depende de las tensiones *V* de cada conductor y de los coeficientes de potencial de Maxwell *P*, determinándose según (**A.2.3**).

$$Q=P^{-1}V \qquad \textbf{(A.2.3)}$$

Los componentes *V* son las tensiones de fase y en *P* se tiene los coeficientes que se indican en (**A.2.4**) y (**A.2.5**).

$$p_{k,k}=\frac{1}{2\pi\varepsilon}\ln\left(\frac{4y_k}{d_k}\right) \qquad \textbf{(A.2.4)}$$

$$p_{k,n\neq k}=\frac{1}{2\pi\varepsilon}\ln\left(\frac{(x_k-x_n)^2+(y_k+y_n)^2}{(x_k-x_n)^2+(y_k-y_n)^2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \textbf{(A.2.5)}$$

Los términos de la diagonal de *P* se determinan considerando el diámetro del conductor d_k.

APÉNDICE 3. RESOLUCIÓN 77/98.

Amplíense las condiciones y requerimientos fijados en el "Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión"

Argentina, Energía Eléctrica

Secretaría de Energía

Resolución (SE) 77/98. Del 12/3/98. B.O.: 18/3/98. Amplíanse las condiciones y requerimientos fijados en el Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión", aprobado por la Resolución SE N° 15/92.

Buenos Aires, 12/3/98

VISTO el Expediente Nº 750-000230/97 del Registro del MINISTERIO DE ECONOMIA Y OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS, y

CONSIDERANDO:

Que la Resolución SECRETARIA DE ENERGIA Nº 15 de fecha 11 de septiembre de 1992, aprobó el Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión fundada en la Resolución SECRETARIA DE ENERGIA Nº 475 de fecha 4 de septiembre de 1987 que prevé los mecanismos para la dimensión ambiental en los proyectos y obras energéticas y en diseño, construcción y explotación de líneas de transmisión y estaciones transformadoras y/o de compensación de Extra Alta Tensión, desde la etapa del proyecto hasta la explotación.

Que el Artículo 17 de la Ley Nº 24.065 establece que la infraestructura física, las instalaciones y la operación de los equipos asociados a la generación, transporte y distribución de energía eléctrica deberán adecuarse a las medidas destinadas a la protección de los ecosistemas involucrados, respondiendo a las estándares de emisión de contaminantes vigentes y los que establezca en el futuro, en el orden nacional, la SECRETARIA DE ENERGIA del MINISTERIO DE ECONOMIA Y OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS.

Que el Artículo 17 del Decreto Nº 1398 del 11 de agosto de 1992 reglamentario de la Ley Nº 24.065 establece que la ex-SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA, hoy SE-CRETARIA DE ENERGIA del MINISTERIO DE ECONOMIA Y OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS deberá determinar las normas de protección de cuencas hídricas y ecosistemas asociados, a las cuales deberán ajustarse los generadores, transportistas y distribuidores de energía eléctrica, en lo referente a la infraestructura física, las instalaciones y las operaciones de sus equipos.

Que para la elaboración de la norma ha intervenido el INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS PARA REDES Y EQUIPOS ELECTRICOS (IITREE), en el marco del Convenio celebrado entre la ex - SUBSECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA y la UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.

Que así también se ha dado intervención en la elaboración a la SECRETARIA DE POLITICA Y REGULACION DE SALUD del MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL, al CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS (CONICET) de la SECRETARIA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, a la SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE dependiente de PRESIDENCIA DE LA NACION, al ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE), a la ASOCIACION DE GENERADORES DE ENERGIA ELECTRICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA (AGEERA), a la ASOCIACION DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELECTRICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA (ADEERA), a la ASOCIACION DE TRANSPORTISTAS DE ENERGIA ELECTRICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA (ATEERA).

Que desde el punto de vista de la protección ambiental, y atento el estudio oportunamente otorgado por el INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS PARA REDES Y EQUIPOS ELECTRICOS (IITREE), es recomendable adoptar, con un criterio de precaución, valores de exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia.

Que, para ello, resulta necesario ampliar las condiciones y requerimientos fijados en el Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión, aprobado por la Resolución de la SECRETARIA DE ENERGIA Nº 15 del 11 de septiembre de 1992.

Que la DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS JURIDICOS del MINISTERIO DE ECONOMIA Y OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS ha tomado la intervención que le compete.

Que la SECRETARIA DE ENERGIA dependiente del MINISTERIO DE ECONOMIA Y OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS se encuentra facultada para el dictado del presente acto, en virtud de lo dispuesto por el Artículo 17 de la ley Nº 24.065 y de su Decreto Reglamentario Nº 1398 del 11 de agosto de 1992.

Por ello,

EL SECRETARIO DE ENERGIA

RESUELVE:

Artículo 1º- Las disposiciones del Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión, aprobado por la Resolución SECRETARIA DE ENERGIA Nº 15 del 11 de septiembre de 1992, serán aplicables a toda empresa u organismo, sea cual fuere su naturaleza jurídica, que tenga a su cargo la realización de proyectos y/o ejecución de obras de líneas de transmisión, estaciones transformadoras y/o compensadoras de tensión igual o mayor a CIENTO TREINTA Y DOS KILOVOLTIOS (132 kV), por su condición de titular de una concesión sujeta a jurisdicción nacional sea ésta de Transporte de Interconexión Internacional, de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión, de Transporte de Energía Eléctrica por Distribución Troncal, o de distribución de Energía Eléctrica así como para actuar como transportista independiente. Considérase, asimismo, alcanzados por las disposiciones del Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión a todo sujeto de derecho que obtenga una autorización de excepción para la construcción de instalaciones de transporte de energía eléctrica en los términos del Artículo 31 de la Ley Nº 24.065, así como a todo transportista independiente.

Artículo 2º- Sustitúyese la denominación Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión a que se hace referencia en el artículo precedente por la de Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico.

Artículo 3º- Sustitúyese el Anexo I Valores Orientativos de la Resolución SECRETARIA DE ENERGIA Nº 15 de fecha 11 de septiembre de 1992 por los Parámetros Ambientales que como Anexo I forman parte integrante del presente acto. Dichos Parámetros Ambientales serán de aplicación obligatoria para todo sujeto comprendido en el artículo precedente.

Artículo 4º- La empresa u organismo, sea cual fuere su naturaleza jurídica, cuya actividad se encuentre sujeta a jurisdicción nacional, y tenga a su cargo la realización de proyectos y/o ejecución de obras de líneas de transmisión y distribución de tensión igual o superior a TRECE CON DOS DECIMAS DE KILOVOLTIOS (13,2 kV) e inferiores a CIENTO TREINTA Y DOS KILOVOLTIOS (132 kV) y estaciones transformadoras y/o puestos de transformación y compensación, deberán cumplir con las Condiciones y Requerimientos que como Anexo II forman parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 5º- Toda violación o incumplimiento de la presente norma deberá ser subsanado en término perentorio que a tales efectos fije el ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE). Si persistiera transcurrido el plazo definido en el apercibimiento, la violación o el incumplimiento, el ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE) podrá ordenar la interrupción de la construcción y/o funcionamiento de la instalación afectada, bajo responsabilidad y a costa y cargo del incumplidor el que adicionalmente será pasible de la sanción de Multa entre PESOS MIL ($ 1.000) y PESOS UN MILLON ($ 1.000.000).

Queda especificado que la interrupción es de carácter preventivo y se mantendrá la misma hasta que la violación o el incumplimiento sea subsanado.

Artículo 6º- Deróganse los Artículos 2º, 4º, 5º y 6º de la Resolución de la SECRETARIA DE ENERGIA Nº 15 del 11 de septiembre de 1992.

Artículo 7º- El presente acto comenzará a regir a partir del día siguiente de la fecha de su publicación.

Artículo 8º- Notifíquese al ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE).

Artículo 9º- De forma.

ANEXO I

PARAMETROS AMBIENTALES

Con el objeto de incentivar un mejoramiento global de la compatibilidad de los electroductos con el ambiente, deben considerarse los efectos originados por:

1- Impacto visual

2- Efecto corona: radiointerferencia
ruido audible

3- Ruido

4- Campos de baja frecuencia: eléctrico
de inducción magnética

IMPACTO VISUAL

En toda instalación eléctrica se deberá considerar la relación entre la obra y el paisaje en sus aspectos directos, esto es por la interposición física de los soportes, torres y de los conductores y en sus aspectos indirectos en la degradación de la percepción del observador de áreas naturales, arquitectónicas, históricas o paisajísticas, ya que representan una instrusión extraña en dicho contexto.

Para identificar la sensibilidad de los recursos naturales, predecir el impacto, incorporar cambios en la traza y en el diseño que permitan reducir el impacto visual adverso, los proyectistas se deberán basar en TRES (3) aspectos importantes: visibilidad, contexto e intensidad, los que juntos forman la estructura conceptual de la evaluación de tal impacto.

Como mínimo, la visibilidad necesita ser determinada desde estos puntos particulares:

a) Areas reconocidas como de contenido escénico, recreativas, culturales, históricas

b) Corredores de electroductos

c) Areas residenciales

d) Distritos comerciales

e) Areas de visión pública significativa.

La evaluación de la visibilidad debe tener en cuenta además factores topográficos, vegetativos, y estacionales (de temporada).

La visibilidad provee un punto de partida definitivo para posteriores evaluaciones, si no hay visibilidad no hay impacto visual, y no serían necesarios posteriores análisis.

El contexto dentro del cual la instalación será ubicada y percibida, es fundamental para el impacto visual. Los factores que permiten considerarlo:

a) Qué tipo de uso se le da a la tierra donde se hará la instalación

b) Qué actividades desarrollan los potenciales espectadores

c) Cuáles son las expectativas escénicas respecto del paisaje.

Dado que es imposible ocultar completamente una línea de alta tensión, es necesario establecer prioridades que permitan determinar dónde dichas instalaciones son visualmente apropiadas o inapropiadas, es decir cuáles paisajes son particularmente sensibles.

Una forma de definir la característica de sensibilidad de un paisaje es a través de factores definidos como: calidad escénica, uso de la tierra o actividad, número de espectadores e instalaciones existentes.

Finalmente, para evaluar tal sensibilidad, el analista debe determinar la intensidad visual, a través del estudio de características específicas de la instalación propuesta.

Los factores que permiten considerar la intensidad son los siguientes:

a) Relieve o prominencia, es decir la posición que la intrusión visual ocupa dentro de la panorámica de una zona dada.

b) Contraste, es decir cómo la instalación se destaca sobre el fondo

c) Distancia desde donde es vista la instalación.

d) Duración de la instalación en el tiempo.

e) Expansión que ocupa la instalación.

f) Escala de la instalación, referida al tamaño en comparación con otros elementos, tales como

árboles, sierras, edificios, etc.

g) Diseño, en cuanto al color, material, textura y forma.

Para el análisis de las alternativas, se deberán incorporar al proyecto pautas que eviten un impacto visual significativo y de minimización de afectación del espacio, considerando los siguientes aspectos:

a) Minimizar el impacto visual de la obra con relación a la apreciación panorámica del paisaje.

b) Seleccionar tecnologías, actualmente disponibles y con posibilidades de aplicación, que reduzcan la ocupación del espacio y el impacto visual, tales como: la utilización de ménsulas aislantes en líneas aéreas (line post); utilización de estructuras tubulares, etc.

c) En zonas pobladas, realizar el emplazamiento de las columnas en sitios donde la afectación a los frentistas sea la menor posible y alejados de predios destinados a alojar o realizar actividades tales como escuelas, hospitales, geriátricos, etc.

d) Evitar el empleo de superficies metálicas brillantes en zonas de alto valor paisajístico, sin perjuicio de cumplir con las restricciones de seguridad que correspondan (aeropuertos, cruce de rutas, etc.).

e) Evitar la proximidad a instalaciones de almacenamiento de combustibles.

El estudio de impacto deberá comprender un examen de las diversas alternativas que la tecnología actual permite considerar, seleccionando aquélla que posea un mejor perfil ambiental.

2. EFECTO CORONA

2.1 Radiointerferencia

El campo perturbador generado por la línea ocasiona, en los radiorreceptores que se encuentran dentro de su zona de influencia, un ruido característico. Las principales fuentes de interferencia en las comunicaciones de radio, originadas en instalaciones de ALTA TENSION (AT), pueden ser separadas en DOS (2) tipos:

a) Descargas corona (descargas eléctricas parciales en un medio dieléctrico gaseoso, en regiones de alta intensidad de campo eléctrico del entorno de los conductores). Estas dependen del diseño de la línea y las condiciones climáticas, e interfieren casi exclusivamente en la banda de frecuencias inferiores a TREINTA MEGAHERTZ (30 MHz) (radio AM), fenómeno reconocido como RADIOINTERFERENCIA (RI).

b) Descargas disruptivas (microdescargas que tienen lugar generalmente en la morsetería y que se deben a falsos contactos o a imperfecciones en el ensamble entre un aislador y su morsetería). Estas dependen de aspectos constructivos e interfieren en un espectro que alcanzan los centenares de MHz (radio FM y TV). Los elementos de las líneas y las subestaciones deben ser ensayados y cumplir con los requerimientos de radiointerferencia indicados en los procedimientos del COMITE INTERNACIONAL ESPECIAL DE PERTURBACIONES RADIOE-LECTRICAS (CISPR) Nº 18 Partes 1, 2 y 3. (CO-MITE INTERNACIONAL ESPECIAL DE PERTURBACIONES RADIOELECTRICAS (CISPR) Nº 18: Características de líneas y equipamientos de alta tensión relativas a perturbaciones radioeléctricas; Parte 1: Descripción del problema, Parte 2: Métodos de medición y procedimientos para la determinación de límites, Parte 3: Práctica para minimizar la generación de ruido). Cumplidos los requerimientos anteriores, el cálculo de los niveles de RADIOINTERFERENCIA (RI) se realiza sólo por descarga corona en los conductores. El nivel tolerable de RADIOINTERFERENCIA (RI) depende de:

c) Los tipos de comunicaciones a proteger.

d) Los niveles de señal de las comunicaciones a proteger.

e) El nivel de la calidad de la recepción.

f) Los límites de tiempo en la interferencia prevista.

Para la definición de la franja perturbada, se utilizarán los procedimientos indicados por el COMITE INTERNACIONAL ESPECIAL DE PERTURBACIONES RADIOELECTRICAS (CISPR) Nº 18- 1, 2 y

3.

De acuerdo con las normas de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones, se fija un nivel máximo de RADIOINTERFERENCIA (RI) en: CINCUENTA Y CUATRO DECIBELES (54 dB) durante el OCHENTA POR CIENTO (80%) del tiempo, en horarios diurnos (Norma SC-S-3.80.02/ 76- Resolución ex - SC Nº 117/78), medidos a una distancia horizontal mínima de CINCO (5) veces la altura de la línea aérea en sus postes o torres de suspensión (Norma SC-M-1- 50.01).

Se fija un valor de máxima interferencia de TREINTA DECIBELES (30dB), para protección de señales radiofónicas, con calidad de recepción de interferencia no audible (Código 5 de CIGRE).

2.2 Ruido Audible

La presencia de efecto corona en conductores de líneas de alta tensión puede dar origen a sonidos audibles (RA: ruido audible). Al igual que en el caso de RADIOINTERFERENCIA (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.

Estos niveles de perturbación de RUIDO AUDIBLE (RA) se incrementan junto con el nivel de tensión de operación de los sistemas de transmisión, y comienza a tomar importancia para tensiones superiores a TRESCIENTOS KILOVOL-TIOS (300 kV), aproximadamente.

Se fija un límite de CINCUENTA Y TRES DECIBELES A[53 dB(A)], valor que no debe ser superado el CINCUENTA POR CIENTO (50%) de las veces en condición de conductor húmedo, a una distancia de TREINTA METROS (30 m) desde el centro de la traza de la línea o en el límite de la franja de servidumbre o parámetro de una estación transformadora.

3. RUIDO

En las subestaciones se evaluarán los datos garantizados de ruido máximo a producir por los transformadores u otros equipos. Los mismos deberán cumplir con las exigencias de la norma IEC 651 (1987) e IRAM Nº 4074-1/88 Medición de niveles de presión sonora.

Se deberá cumplir con la norma IRAM Nº 4062/84 (Ruidos molestos al vecindario).

4. CAMPOS DE BAJA FRECUENCIA

En presencia de campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas, pueden aparecer por acoplamiento electrostático (E/S) y acoplamiento magnético (E/M) tensiones y corrientes en instalaciones cercanas tales como alambrados, cercas, cañerías de riego, líneas de comunicación, etc., las cuales pueden tener efectos sobre las personas y/o sobre las instalaciones.

Para atender los efectos de las líneas aéreas sobre circuitos de comunicaciones en las cercanías de instalaciones de ALTA TENSION (A.T.) deben seguirse las directivas del COMITE CONSULTIVO INTERNACIONAL TELEGRAFICO Y TELEFONICO (CCITT).

Para atender los efectos en las personas debidos a un eventual contacto con instalaciones cercanas a las líneas, se adoptan valores límites de corrientes de contacto para un caso testigo, tal como se indica en los puntos 4.1 y 4.2.

Para atender los efectos en las personas debidos a la exposición a campos eléctricos y de inducción magnética, se adoptan valores de máximo límite extremo tendientes a orientar la elección de los diseños de las futuras instalaciones, teniendo en cuenta valores tan bajos como razonablemente alcanzables, y evitando los que puedan producir campos de inducción magnética más intensos que los típicos para las líneas existentes, tal como se indica en los puntos 4.1 y 4.2.

El estudio de evaluación de impacto deberá comprender un examen de las diversas alternativas de diseño que la tecnología actual permita considerar, seleccionando aquélla que contenga los valores de campos eléctricos y de inducción magnética tan bajos como sea razonablemente alcanzable.

4.1 Campo eléctrico:

En base a los documentos elaborados conjuntamente por la ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), la ASOCIACION INTERNACIONAL PROTECCION CONTRA LA RADIACION NO IONIZANTE (IRPA), y el PROGRAMA AMBIENTAL DE NACIONES UNIDAS, los cuales recopilan en

diferente países, los valores típicos de la mayoría de las líneas que se encuentran en operación, se adopta el siguiente valor límite superior de campo eléctrico no perturbado, para líneas en condiciones de tensión nominal y conductores a temperatura máxima anual: TRES KILOVOLTIOS POR METRO (3 kV/m), en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a UN METRO (1 M) del nivel del suelo.

Cuando no estuviera definida la franja de servidumbre, el nivel de campo deberá ser igual o inferior a dicho valor en los puntos resultantes de la aplicación de las distancias mínimas establecidas en la Reglamentación de la ASOCIACION ELECTROTECNICA ARGENTINA (AEA) sobre Líneas Eléctrica Aéreas Exteriores.

El nivel máximo de campo eléctrico, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto para un caso testigo: niño sobre tierra húmeda y vehículo grande sobre asfalto seco, no deberán superar el límite de seguridad de CINCO MILI AMPERIOS (5mA).

4.2 Campo de inducción magnética:

En base a la experiencia de otros países, algunos de los cuales han dictado normas interinas de campos de inducción magnéticas y a los valores típicos de las líneas en operación, se adopta el siguiente valor límite superiores de campo de inducción magnética para líneas en condiciones de máxima carga definida por el límite térmico de los conductores: DOSCIENTOS CINCUENTA MILI GAUSSIOS (250 mG), en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a UN METRO (1) del nivel del suelo.

Cuando no estuviera definida la franja de servidumbre, el nivel de campo deberá ser igual o inferior a dicho valor en los puntos resultantes de la aplicación de las distancias mínimas establecidas en la Reglamentación de la ASOCIACION ELECTROTECNICA ARGENTINA (AEA) sobre Líneas Eléctrica Aéreas Exteriores.

El nivel máximo de campo de inducción magnética, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto en régimen permanente, debido al contacto con objetos metálicos largos cercanos a las líneas, no deberán superar el límite de salvaguarda de CINCO MILI AMPERIOS (5mA).

ANEXO II

CONDICIONES Y REQUERIMIENTOS

1. INTRODUCCION

El presente Anexo forma parte de las acciones emprendidas por la SECRETARIA DE ENERGIA para evaluar y controlar los efectos ambientales del abastecimiento eléctrico, y persigue alcanzar los siguientes objetivos:

Proporcionar el marco de referencia para la oportuna y adecuada consideración de aquellos aspectos ambientales vinculados al proyecto, construcción y explotación de líneas de tensiones iguales o superiores a TRECE CON DOS DECIMAS DE KILOVOLTIO (13,2 kV) e inferiores a CIENTO TREINTA Y DOS KILOVOLTIOS (132 kV) y de las estaciones transformadoras y/o puestos de transformación y/o compensación correspondientes.

Orientar la identificación de las tareas necesarias para la gestión ambiental, en cada etapa del desarrollo de tales obras, las que estarán integradas a la gestión global de las mismas.

La consideración de estos aspectos, permitirán optimizar la eficiencia de las instalaciones en el largo plazo y el funcionamiento armónico con el ambiente, sobre todo cuanto a raíz de su emplazamiento se pueden generar o potenciar determinados impactos y/o conflictos que pueden resultar gravosos para ambos componentes.

2. CONDICIONES

Se deberá:

a) Observar el cumplimiento estricto de la legislación ambiental, asumiendo la responsabilidad de adoptar las medidas que correspondan para evitar efectos nocivos sobre el aire, el suelo, las aguas y otros componentes del ambiente.

b) Mantener los equipos e instalaciones en condiciones tales que permitan niveles de contaminación menores o iguales a los indicados por las leyes, decretos, reglamentaciones y normas que correspondan aplicar en cada caso en particular.

c) Establecer y mantener durante el período de operación, sistemas de registro, a fin de facilitar la verificación del cumplimiento de las nor-mas de protección ambiental.

3. REQUERIMIENTOS

Con el objeto de incentivar un mejoramiento global de la compatibilidad de las instalaciones con el ambiente, para toda instalación nueva, ampliación o extensión de las existentes, deberán adecuarse las acciones a los parámetros ambientales establecidos en el punto 4 del presente Anexo. El informe sobre el tratamiento de tales parámetros estará a disposición del ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE) para su presentación ante dicho organismo, en la oportunidad que éste lo requiera a los fines del cumplimiento del ejercicio de sus funciones.

Se deberá confeccionar el Plan de Gestión Ambiental correspondiente, para las etapas de construcción y operación el cual cumplirá, en su presentación y ejecución, con los requerimientos establecidos en la Resolución ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE) Nº 32 de fecha 29 de abril de 1994, acerca de los Procedimientos de Programas de Gestión Ambiental.

4. PARAMETROS AMBIENTALES

4.1 OCUPACION DEL ESPACIO

El proyecto de un sistema de transmisión o distribución, como de cualquier otra obra, no puede prescindir de considerar el daño potencial que puede originar al medio que lo circunda. En forma concreta ocupará un espacio originando perturbaciones al ambiente natural y al ambiente social.

En el análisis de las alternativas de las obras, deberán considerarse los siguientes aspectos:

a) Reconocimiento de la estructura social y económica de las áreas afectadas por la traza de la línea y por el emplazamiento de las estaciones y/o puestos de transformación y/o compensación, e identificación de los efectos positivos y negativos a áreas productivas, zonas residenciales, de yacimientos arqueológicos o de interés histórico, paisajístico y turístico, y a otros usos del espacio.

b) Estudio y evaluación de formas alternativas de acceso en aquellos tramos donde la línea atraviese zonas que deban ser preservadas por razones, del sistema natural, arqueológicas, históricas, paisajísticas, económicas-productivas, etc.

c) Prevalecer el uso de áreas en las que ya se encuentre modificado el sistema natural.

d) Evitar la proximidad e instalaciones de almacenamiento de combustibles.

e) Evitar en las estaciones transformadoras y puestos de transformación y/o de compensación, que resulten contaminados los desagües pluviales y/o sanitarios con los líquidos de refrigeración.

f) Manejo adecuado en el movimiento de suelos, a fin de evitar la ocurrencia o aceleración de procesos erosivos, la alteración de escurrimientos de aguas superficiales o su acumulación.

Estas precauciones se adoptarán tanto en las zonas de servicio como en las zonas afectadas por las obras.

g) Tratamiento de las tierras afectadas por la construcción y emplazamiento de la línea y estaciones, tendientes a restituirlas al término de los trabajos respectivos a su estado natural, al máximo que sea posible, compatible con el servicio, y en el mínimo plazo.

h) En las zonas pobladas, se deberá respetar la trama urbana y tratar de utilizar espacios públicos no destinados a parques, lugares turísticos o recreativos para la comunidad. Se sugiere el alejamiento de predios destinados a alojar o realizar actividades tales como escuelas, hospitales, hospicios, geriátricos, etc.

i) Garantizar el acceso a los inmuebles de los frentistas que se encuentren afectados a la obra, especialmente en la etapa de construcción de la misma.

j) Las excavaciones que se realicen para las instalaciones de cable subterráneo deben resguardar la presencia de otros servicios, limitar la rotura de veredas y afectar mínimamente las raíces de los árboles.

k) Garantizar, en zonas pobladas, la circulación de vehículos y transeúntes en las etapas de construcción y mantenimiento de las obras.

l) Desmontar los campamentos y obradores y demás instalaciones utilizadas durante la construcción y retirar todos los materiales sobran-tes o no usados, procurando restablecer los respectivos sitios a sus condiciones de origen.

m) Adoptar medidas de seguridad para evitar la ocurrencia de accidentes, cercando la zona de trabajo con vallas que garanticen la interrupción de la circulación.

Esta iniciativa se concreta, por un lado, con metodologías de proyecto que otorgan el peso justo a la instancia de protección del ambiente, y por otro lado, mediante la introducción de nuevas tipologías de componentes, particularmente compactos.

4.2 IMPACTO VISUAL

Una de las afectaciones más importantes es la que existe en la relación entre la obra y el paisaje, ya sea por aspectos directos, esto es por la interposición física de los soportes o torres y de los conductores o por aspectos indirectos en la degradación de la percepción del observador de áreas naturales, arquitectónicas, históricas o paisajísticas, ya que representan una intrusión extraña en dicho contexto.

La ocupación del espacio y la perturbación visual son factores primarios del impacto de la línea aérea en el ambiente.

Para identificar la sensibilidad de los recursos naturales, predecir el impacto, incorporar cambios en la traza y en el diseño que permitan reducir el impacto visual adverso, los proyectistas se deberán basar en TRES (3) aspectos importantes: visibilidad, contexto e intensidad, los que juntos forman la estructura conceptual de la evaluación de tal impacto.

Como mínimo, la visibilidad necesitará ser determinada desde los siguientes puntos:

a) Areas reconocidas como de contenido escénico, recreativas, culturales, históricas

b) Corredores de electroductos

c) Areas residenciales

d) Distritos comerciales

e) Areas de visión pública significativa

La evaluación de la visibilidad debe tener en cuenta además, factores topográficos, vegetativos y estacionales (de temporada).

La visibilidad provee un punto de partida definitivo para posteriores evaluaciones, si no hay visibilidad no hay impacto visual, y no serían necesarios posteriores análisis.

El contexto dentro del cual la instalación será ubicada y percibida, es fundamental para el impacto visual. Los factores que permiten considerarlo son:

a) Qué tipo de uso se le da a la tierra donde se hará la instalación

b) Qué actividades desarrollan los potenciales espectadores

c) Cuáles son la expectativas escénicas respecto del paisaje.

Dado que es imposible ocultar completamente una línea, es necesario establecer prioridades que permitan determinar dónde dichas instalaciones son visualmente apropiadas o inapropiadas, es decir cuáles paisajes son particularmente sensibles. Una forma de definir las características de sensibilidad de un paisaje es a través de factores definidos como: calidad escénica, uso de la tierra o

actividad, número de espectadores e instalaciones existentes.

Finalmente, para evaluar tal sensibilidad, el analista deberá determinar la intensidad visual, a través del estudio de características específicas de la instalación propuesta.

Los factores que permiten considerar la intensidad son los siguientes:

a) Relieve o prominencia, es decir la posición que la intrusión visual ocupa dentro de la panorámica de una zona dada.

b) Contraste, es decir cómo la instalación se destaca sobre el fondo

c) Distancia desde donde es vista la instalación.

d) Duración de la instalación en el tiempo.

e) Expansión que ocupa la instalación.

f) Escala de la instalación, referida al tamaño en comparación con otros elementos, tales como árboles, sierras, edificios, etc.

g) Diseño, en cuanto al color, material, textura y forma.

Para el análisis de las alternativas, se deberán incorporar al proyecto pautas que eviten impactos visuales significativos y de minimización de afectación del espacio, mediante la consideración de los siguientes aspectos:

a) En áreas pobladas, considerar el uso de muros de elevación en la periferia o límites de las subestaciones, en lugar de cercas metálicas. Implementar el tratamiento paisajístico con cercas vivas, las que atenúan el impacto visual.

b) Adoptar proyectos de iluminación, para los patios externos, que sean compatibles con las necesidades de operación y mantenimiento, de manera de evitar el realce innecesario o inadecuado de las instalaciones en el medio que las circundan.

c) Seleccionar soportes de las líneas aéreas que se caractericen por minimizar su perceptibilidad.

d) En la líneas aéreas, considerar la utilización de ménsulas aislantes (line post), ya que disminuyen al mínimo la distancia del conductor al soporte, reduciendo la ocupación del espacio y el impacto visual.

e) En las áreas pobladas, las columnas deben ser emplazadas en sitios donde la afectación a los frentistas sea la menor posible.

f) Se debe minimizar la perceptibilidad de los gabinetes tipo buzón, en los que se instalan tableros de baja tensión, atendiendo a su diseño y al color de los mismos.

g) Considerar la utilización de conductores aislados, ya que resultan más seguras para las personas y las aves, por reducción del riesgo de electrocución accidental, del impacto visual y de la ocupación del terreno. A la vez permite una mejor inserción en zonas boscosas ya que se reduce drásticamente la tala de árboles, tanto en la fase de construcción como de operación.

h) Instalar las señalizaciones de seguridad correspondientes, de acuerdo a las actividades que se desarrollen en las cercanías de las líneas (aeropuertos, operaciones de grúas, etc.).

El estudio de evaluación de impacto deberá comprender un examen de las diversas alternativas que la tecnología actual permite considerar, seleccionando aquélla que posea un mejor perfil ambiental.

4.3 RADIOINTERFERENCIA

El campo perturbador generado por la línea ocasiona, en los radiorreceptores que se encuentran dentro de su zona de influencia, un ruido característico.

Los elementos de las líneas y puestos de transformación, deben ser ensayados y cumplir con los requerimientos de radiointerferencia indicados en los procedimientos del COMITE INTERNACIONAL

ESPECIAL DE PERTURBACIONES RADIO-ELECTRICAS (CISPR) Nº 18 Partes 1, 2 y 3.

Número 18: Característica de líneas y equipamientos de alta tensión relativas a perturbaciones radioeléctricas; Parte 1: Descripción del problema, Parte 2: Métodos de medición y procedimientos para la determinación de límites, Parte 3: Práctica para minimizar la generación de ruido).

Cumplidos los requerimientos anteriores, el cálculo de los niveles de RADIOINTERFERENCIA (RI) se realiza sólo por descarga corona en los conductores. El nivel tolerable de RADIO-INTERFERENCIA (RI) depende de: los tipos de comunicaciones a proteger, lo niveles de señal de las comunicaciones, el nivel de la calidad de la recepción y los límites de tiempo en la interferencia prevista.

Para la definición de la franja perturbada, se utilizarán los procedimientos indicados por la norma del COMITE INTERNACIONAL ESPECIAL DE PERTURBACIONES RADIOELECTRICAS (CISPR) Nº 18 Partes 1, 2 y 3.

De acuerdo con las normas de la COMISION NACIONAL DE COMUNICACIONES, se fija un nivel máximo de RADIOINTERFERENCIA (RI) en: CINCUENTA Y CUATRO DECIBELES (54 dB) durante el OCHENTA POR CIENTO (80%) del tiempo, en horarios diurnos (Norma SC-S-3.80.02/ 76 - Resolución ex - SC Nº 117/78, medidos a una distancia horizontal mínima de CIN-CO (5) veces la altura de la línea aérea en sus postes o torres de suspensión (Norma SC-M-1- 50.01).

Se fija un valor de máxima interferencia de TREINTA DECIBELES (30 dB), para protección de señales radiofónica, con calidad de recepción de interferencia no audible (Código 5 de CIGRE).

4.4. RUIDO

En las subestaciones se evaluarán los datos garantizados de ruido máximo a producir de los transformadores y otros equipos. Los mismos, deberán cumplir con las exigencias de la norma IEC 651 (1987) e IRAM Nº 4074-1/88 Medición de niveles de presión sonora.

Se deberá cumplir con la norma IRAM Nº 4062 Ruidos molestos al vecindario.

4.5. CAMPOS DE BAJA FRECUENCIA

En presencia de campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas, pueden aparecer por acoplamiento electrostático (E/S) y acoplamiento magnético (E/M) tensiones y corrientes en instalaciones cercanas, tales como alambrados, cercas, cañerías de riego, líneas de comunicación, etc., las cuales pueden producir efectos sobre las personas y/o las instalaciones.

Para atender los efectos de las líneas aéreas sobre circuitos de comunicaciones instalados en las cercanías de instalaciones de ALTA TENSION (AT) deben seguirse las directivas del COMITE CONSULTIVO INTERNACIONAL TELEGRAFICO Y TELEFONICO (CCITT).

Para atender los efectos en las personas debidos a un eventual contacto con instalaciones cercanas, se adoptan valores límites de corrientes de contacto para un caso testigo, tal como se indica en los puntos 4.5.1. y 4.5.2.

Para atender los efectos en las personas debidos a la exposición a campos eléctricos y de inducción magnética, se adoptan valores de máximo límite extremo tendientes a orientar la elección de los diseños de las futuras instalaciones de distribución de energía eléctrica, teniendo en cuenta valores tan bajos como razonablemente alcanzables, y evitando los que puedan producir campos de inducción magnética más intensos que los típicos para las líneas existentes, tal como se indica en los puntos 4.5.1. y 4.5.2.

El informe de los requerimientos ambientales deberá reflejar los esfuerzos razonablemente aceptables para disminuir los valores de campo eléctrico y magnético tanto como sea posible.

4.5.1. Campo eléctrico

En base a los documentos elaborados conjuntamente por la ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), la ASOCIACION INTERNACIONAL DE PROTECCION CONTRA LA RADIACION NO IONIZANTE (IRPA) y el PROGRAMA AMBIENTAL DE NACIONES UNIDAS, los cuales recopilan en diferentes países, los valores típicos de la mayoría de las líneas que se encuentran en operación, se adopta el siguiente valor límite superior de campo eléctrico no perturbado para las líneas, en

condiciones de tensión nominal y conductores a temperatura máxima anual: TRES KILOVOLTIOS POR METRO (3 kV/m), en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a un metro del nivel del suelo.

Cuando no estuviera definida la franja de servidumbre, el nivel de campo deberá ser igual o inferior a dicho valor en los puntos resultantes de la aplicación de las distancias mínimas establecidas en la Reglamentación de la ASOCIACION ELECTROTECNICA ARGENTINA (AEA) sobre Líneas Eléctricas Aéreas Exteriores.

El nivel máximo de campo eléctrico, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto para un caso testigo: niño sobre tierra húmeda y vehículo grande sobre asfalto seco, no deberán superar el límite de seguridad de CINCO MILI AMPERIOS (5mA).

4.5.2. Campo de inducción magnética

En base a la experiencia de otros países, algunos de los cuales han dictado normas interinas de campos de inducción magnética y a los valores típicos de las líneas en operación, se adopta el siguiente valor límite de campo de inducción magnética para líneas, en condiciones de máxima carga definida por el límite térmico de los conductores:

DOSCIENTOS CINCUENTA MILI GAUSSIOS (250 mG), en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a un metro del nivel del suelo.

Cuando no estuviera definida la franja de servidumbre, el valor de campo deberá ser igual o inferior a dicho valor en los puntos resultantes de la aplicación de las distancias mínimas establecidas en la Reglamentación de la ASOCIACION ELECTROTECNICA ARGENTINA (AEA) sobre Líneas Eléctricas Aéreas Exteriores.

El nivel máximo de campo de inducción magnética, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto en régimen permanente, debido al contacto con objetos metálicos largos cercanos a las líneas, no deberán superar el límite de salvaguarda de CINCO MILI AMPERIOS (5mA).

-o-