DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén

Decreto Exento N°257/2022

CAPITULO 1 / ANEXO 1.4

Caracterización de Campos Electromagnéticos

2026

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 2

2.1 OBJETIVOS GENERALES 2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 3

4. METODOLOGÍA 4

4.1 CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO 4
4.2 CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO 7

5. NORMATIVA APLICABLE 9

6. ÁREA DE INFLUENCIA 11

6.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS - SALUD DE LA POBLACIÓN 11
6.2 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA 11
6.3 JUSTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 12

7. MODELACIÓN 16

7.1 SECCIONAMIENTO LAS DELICIAS (22A.4C) 17
7.1.1 Cálculo del campo eléctrico 19
7.1.2 Cálculo del campo magnético 20
7.2 LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (S66.4) 21
7.2.1 Cálculo del campo eléctrico 24
7.2.2 Cálculo del campo magnético 25
7.3 LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (A66.4/R66.4) 26
7.3.1 Cálculo del campo eléctrico 29
7.3.2 Cálculo del campo magnético 30
7.4 MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E COIQUÉN 66 KV 31
7.4.1 Cálculo del campo eléctrico 32
7.4.2 Cálculo del campo magnético 33
7.5 MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 220 KV 34
7.5.1 Cálculo del campo eléctrico 37
7.5.2 Cálculo del campo magnético 38
7.6 MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 66 KV 39
7.6.1 Cálculo del campo eléctrico 42
7.6.2 Cálculo del campo magnético 43

8. ANÁLISIS DE RECEPTORES 44

8.1 CARACTERIZACIÓN 44

8.2 EFECTOS SINERGICOS 49

8.2.1 Tramo 4 / Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 50

8.2.2 Cálculo del campo eléctrico 52

8.2.3 Cálculo del campo magnético 53

8.2.4 Análisis 54

9. CONCLUSIONES 56

10. BIBLIOGRAFÍA 58

TABLAS

TABLA 6-1. DISTANCIAS DE CORTE PARA CAMPO ELÉCTRICO DESDE EL EJE DE LA INSTALACIÓN 13

TABLA 6-2. DISTANCIAS DE CORTE PARA CAMPO MAGNÉTICO DESDE EL EJE DE LA INSTALACIÓN 13

TABLA 7-1. ALTURA MÍNIMA REGLAMENTARIA DE CONDUCTORES SEGÚN TENSIÓN NOMINAL 16

TABLA 7-2. RESUMEN DE LAS CONDICIONES GENERALES DE LA MODELACIÓN 17

TABLA 7-3. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 18

TABLA 7-4. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — SECC. LAS DELICIAS (22A.4C) 20

TABLA 7-5. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — SECC. LAS DELICIAS (22A.4C) 21

TABLA 7-6. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 22

TABLA 7-7. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (S66.4) 25

TABLA 7-8. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (S66.4) 26

TABLA 7-9. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 27

TABLA 7-10. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (A66.4/R66.4) 29

TABLA 7-11. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (A66.4/R66.4) 30

TABLA 7-12. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 32

TABLA 7-13. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — MARCO DE LÍNEA S/E COIQUÉN 66 KV 33

TABLA 7-14. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E COIQUÉN 66 KV 34

TABLA 7-15. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 36

TABLA 7-16 RESUMEN VALORES FRANJA DE SEGURIDAD Y VALOR MÁXIMO REGISTRADO 38

TABLA 7-17. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — ML NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 220 KV 39

TABLA 7-18. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 41

TABLA 7-19. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 66 KV 43

TABLA 7-20. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA SUBESTACIÓN SECCIONADORA LAS DELICIAS 66 KV 44

TABLA 8-1. RECEPTORES IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO 44

TABLA 8-2. DISTANCIAS ENTRE RECEPTORES Y FUENTES (METROS) 46
TABLA 8-3. VALOR DE CAMPO ELÉCTRICO EN KV/M 46
TABLA 8-4. PORCENTAJE DE VALOR LÍMITE CAMPO ELÉCTRICO (5 KV/M) 47
TABLA 8-5. VALOR DE CAMPO MAGNÉTICO EN µT 47
TABLA 8-6. PORCENTAJE DE VALOR LÍMITE CAMPO MAGNÉTICO (100 µT) 47
TABLA 8-7. RECEPTORES IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO 50
TABLA 8-8. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 51
TABLA 8-9. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — TRAMO 4 LÍNEA S/E ITAHUE- S/E HUALQUI 53
TABLA 8-10. RESULTADOS PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — TRAMO 4 LÍNEA S/E ITAHUE- S/E HUALQUI 54
TABLA 8-11. VALORES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN RECEPTORES IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO 55

FIGURAS

FIGURA 6-1 ÁREA DE ESTUDIO/DISPERSIÓN 15
FIGURA 7-1 SILUETA DE ESTRUCTURA MODELADA JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 18
FIGURA 7-2 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — SECC. LAS DELICIAS (22A.4C) 20
FIGURA 7-3 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — SECC. LAS DELICIAS (22A.4C) 21
FIGURA 7-4 SILUETA DE ESTRUCTURA MODELADA JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 22
FIGURA 7-5 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (S66.4) 24
FIGURA 7-6 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (S66.4) 26
FIGURA 7-7 SILUETA DE ESTRUCTURA MODELADA JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 27
FIGURA 7-8 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO - LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (A66.4/R66.4) 29
FIGURA 7-9 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (A66.4/R66.4) 30
FIGURA 7-10 PERFIL DEL MARCO DE LÍNEA MODELADO JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 31
FIGURA 7-11 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E COIQUÉN 66 KV 33
FIGURA 7-12 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E COIQUÉN 66 KV 34
FIGURA 7-13 PERFIL DEL MARCO DE LÍNEA MODELADO JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 35
FIGURA 7-14 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — ML NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 220 KV 37
FIGURA 7-15 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — ML NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 220 KV 38
FIGURA 7-16 PERFIL DEL MARCO DE LÍNEA MODELADO JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 40
FIGURA 7-17 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 66 KV 42
FIGURA 7-18 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — MARCO DE LÍNEA NUEVA SUBESTACIÓN SECCIONADORA LAS DELICIAS 66 KV43
FIGURA 8-1 UBICACIÓN DE RECEPTORES DE CEM EN EL ÁREA DE ESTUDIO 45
FIGURA 8-2 UBICACIÓN DE RECEPTORES CERCANOS AL PROYECTO SISTEMA DE TRANSMISIÓN ZONAL GRUPO 3 S/E ITAHUE- S/E HUALQUI 49
FIGURA 8-3 SILUETA DE ESTRUCTURA MODELADA JUNTO CON LAS COORDENADAS ASOCIADAS A CADA CONDUCTOR 51
FIGURA 8-4 PERFIL DE CAMPO ELÉCTRICO - TRAMO 4 LÍNEA S/E ITAHUE- S/E HUALQUI 53

FIGURA 8-5 PERFIL DE CAMPO MAGNÉTICO — TRAMO 4 LÍNEA S/E ITAHUE- S/E HUALQUI 54

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén", en adelante el Proyecto, corresponde a una iniciativa de infraestructura de transmisión eléctrica zonal contemplada en el Decreto Exento N°257/2022 del Ministerio de Energía, que aprueba el Plan de Expansión del Sistema de Transmisión correspondiente al año 2021. El objetivo del Proyecto es reforzar la capacidad, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico en la zona, mediante la incorporación de nuevas instalaciones de transmisión eléctrica destinadas a mejorar la continuidad y calidad del suministro eléctrico.

En términos generales, el Proyecto considera la construcción y operación de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias a través del seccionamiento de la Línea 2x220 kV Dichato- Nueva Cauquenes, la Nueva Subestación Coiquén, una nueva Línea de Transmisión denominada 2x66 kV Las Delicias- Coiquén, de aproximadamente 9 km de longitud. El Proyecto se emplaza en la Región de Ñuble, principalmente en la comuna de Quirihue, y se somete al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), de conformidad con lo establecido en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

El presente informe corresponde a la caracterización y evaluación del componente Campos Electromagnéticos (CEM) del área de estudio del Proyecto, cuyo objetivo es modelar y analizar los niveles de campo eléctrico y campo magnético generados por las instalaciones de transmisión eléctrica proyectadas, verificando el cumplimiento de la normativa y criterios técnicos aplicables para la protección de la salud de la población.

El análisis considera la delimitación del área de estudio, la identificación de receptores potencialmente expuestos y la modelación de las emisiones electromagnéticas asociadas a las instalaciones del Proyecto, conforme a los criterios establecidos por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), la normativa sectorial vigente y el "Criterio de Evaluación en el SEIA: Evaluación de Impactos por Radiación Electromagnética en Proyectos de Transmisión Eléctrica" (SEA, 2023).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Modelar el campo eléctrico y el campo magnético generados por las instalaciones de alta tensión del Proyecto, considerando sus distintas configuraciones estructurales y niveles de tensión.
- Verificar el cumplimiento de los valores establecidos por la normativa de referencia respecto de los niveles de campo eléctrico y campo magnético obtenidos para cada receptor identificado, considerando los eventuales efectos sinérgicos entre las instalaciones del Proyecto y las instalaciones existentes en el área de influencia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar el área de estudio y el área de influencia para la evaluación de la radiación electromagnética del Proyecto, identificando los receptores ubicados en las inmediaciones de la franja de seguridad.
- Caracterizar y modelar las fuentes principales de campo eléctrico y campo magnético de frecuencia industrial (50 Hz) del Proyecto, en particular:
    - Seccionamiento Las Delicias (22A.4C)
    - Línea de transmisión Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4 y A66.4/R66.4)
    - Marco de línea S/E Coiquén 66 kV
    - Marco de línea S/E Las Delicias 220 kV
    - Marco de línea S/E Las Delicias 66 kV
- Determinar los niveles de campo eléctrico y campo magnético a los que se ve sometido cada receptor en función de su distancia a las distintas fuentes del Proyecto, verificando el cumplimiento de la normativa de referencia aplicable.
- Evaluar los eventuales efectos sinérgicos entre las instalaciones del Proyecto y las instalaciones de alta tensión existentes con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) vigente en el área de influencia.

3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El Proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén" (en adelante el Proyecto) contempla la construcción y operación de dos nuevas subestaciones eléctricas, una nueva línea de transmisión de doble circuito en 66 kV y los enlaces de seccionamiento asociados, emplazados en la comuna de Quirihue, región de Ñuble.

La nueva S/E Seccionadora Las Delicias se construirá mediante el seccionamiento de la línea 2x220 kV Dichato – Nueva Cauquenes, incluyendo la construcción de los enlaces necesarios para mantener al menos las características técnicas de la línea existente que se secciona. La subestación contará con patio en 220 kV en configuración interruptor y medio, e incluye la instalación de un transformador de poder 220/66 kV de 75 MVA con Cambiador de Derivación Bajo Carga (CDBC) y su respectivo patio en 66 kV en configuración barra principal y barra de transferencia. Por su parte, la S/E Coiquén contempla patios en 66 kV y 23 kV, con un transformador de poder 66/23 kV de 20 MVA con CDBC, y se emplazará dentro de un radio de 2 km respecto de la actual subestación Quirihue. Ambas subestaciones quedan interconectadas mediante la nueva línea de transmisión de doble circuito 2x66 kV Las Delicias – Coiquén, con una capacidad de transmisión de al menos 46 MVA por circuito.

En síntesis, de acuerdo con la descripción anterior, el Proyecto está conformado por las siguientes obras eléctricas principales:

- Nueva S/E Seccionadora Las Delicias (220/66 kV)
- Enlaces de seccionamiento de la línea 2x220 kV Dichato – Nueva Cauquenes
- Nueva línea de transmisión 2x66 kV Las Delicias – Coiquén
- Nueva S/E Coiquén (66/23 kV)

4. METODOLOGÍA

4.1 CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO

En este estudio se determinan los campos eléctricos mediante un análisis simplificado en dos dimensiones. Este enfoque permite calcular el campo eléctrico de una línea de transmisión con una precisión aceptable.

Las consideraciones de este análisis son las siguientes:

- Los conductores de las líneas de transmisión se simulan como conductores cilíndricos de longitud infinita, paralelos entre sí y dispuestos sobre un terreno perfectamente plano.
- La tierra se asume como un conductor perfecto.
- El dieléctrico entre los conductores y la tierra corresponde al aire, cuya permitividad se supone igual a la permitividad del vacío ($\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ F/m).

No se consideran las estructuras metálicas ni los cables de guardia. Los cables de guardia, al estar ubicados por sobre los conductores de fase, producen una reducción del campo eléctrico a nivel de suelo no superior al 1–2%. Su omisión constituye una simplificación conservadora que sobreestima levemente el campo calculado bajo estas hipótesis, es posible resolver el problema de forma precisa mediante el método de simulación de cargas, también denominado método de las imágenes.

De esta manera, cada conductor se representa mediante una carga puntual ubicada en su centro geométrico, junto con su carga imagen, situada bajo la superficie del terreno a una profundidad igual a la altura del conductor.

El valor de las cargas en cada conductor puede determinarse a partir de la tensión fasorial aplicada a cada fase (V) y de la matriz de coeficientes de potencial de Maxwell (P).

$$[Q] = [P]^{-1}[V] \qquad \text{Ec. 1}$$

Los elementos de la matriz de coeficientes de Maxwell se calculan a partir de las siguientes expresiones Ec. 2 y Ec. 3

$$P_{kk} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\ln(\frac{4H_k}{d_k}) \quad \text{Ec. 2}$$

$$P_{kj} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\ln(\frac{D'_{kj}}{D_{kj}}) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- Pkk: Es el coeficiente de potencial propio del conductor k.Pkjes el coeficiente de potencial mutuo entre los conductores k y l.
- dk : Es el diámetro del conductor k.
- Hk: Es la altura sobre el suelo del conductor k.
- Dkj: Es la distancia entre los conductores k y j.
- D'kj: Es la distancia entre los conductores k y la imagen del conductor j.
- ε0: 8,854·10-12 F/m

En el caso de líneas compuestas por sub conductores en cada fase (bundle), se calcula un diámetro equivalente determinado por las siguientes expresiones, Ec. 4 y Ec. 5

$$d_b = \frac{s}{\sin\frac{\pi}{n}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$d_{eq} = d_b\left(\frac{nd}{d_b}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

- Db: Corresponde al diámetro del grupo de conductores.
- n: Es el número de sub conductores por grupo.
- d: Es el diámetro de los sub conductores (diámetro del círculo que pasa por cada sub conductor).
- s: Es el espacio entre dos sub conductores adyacentes.

La solución de Ec. 1, permite obtener la carga eléctrica en cada conductor. Conocida esta información, es posible conocer el potencial del campo eléctrico en cada punto del espacio.

Luego, las componentes vectoriales del campo eléctrico producidas por el k-ésimo conductor, quedarían representadas por las siguientes ecuaciones:

$$E_{kx} = \frac{Q_{rk} + jQ_{ik}}{2\pi\epsilon} \cdot \left(\frac{X_M}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right) \quad \text{Ec. 6}$$

$$E_{ky} = \frac{Q_{rk} + jQ_{ik}}{2\pi\epsilon} \cdot \left(\frac{H_M - H_k}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{H_M - H_k}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right) \quad \text{Ec. 7}$$

$$E_x = \sum_k E_{kx} \quad \text{Ec. 8}$$

$$E_y = \sum_k E_{ky} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

- Ekx: Componente horizontal del campo eléctrico
- Eky: Componente vertical del campo eléctrico
- Qrk: Componente real de carga eléctrica
- Qik: Componente imaginaria de carga eléctrica
- XM: Distancia horizontal entre el punto de medida y el conductor k-ésimo
- YM: Coordenada Y del punto del espacio donde se medirá el campo eléctrico
- Hk: Coordenada Y de conductor k-ésimo
- ε: En este caso, permitividad del espacio vacío: $\varepsilon_0 = 8{,}854 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$

El valor eficaz (RMS) de las componentes reales e imaginarias, queda entonces definido por:

$$E_{rms} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad \text{Ec. 10}$$

Como el campo eléctrico, es un campo vectorial complejo, el cual puede estar polarizado circular o elípticamente. La Ec. 10 determina el valor eficaz máximo de campo, el cual corresponde a la magnitud del semieje mayor.

4.2 CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético producido por las líneas de transmisión eléctricas puede ser calculado con precisión utilizando un método simplificado en dos dimensiones, de manera análoga al campo eléctrico.

Las consideraciones para este análisis son las siguientes:

Los conductores de las líneas de transmisión son simulados como conductores cilíndricos de longitud infinita, paralelos entre sí y sobre un terreno perfectamente plano.

La tierra se asume como un mal conductor del campo magnético. La presencia de la tierra puede ser simulada por imágenes del conductor enterrados a una profundidad compleja, que puede ser aproximado a una profundidad real. En la práctica, la profundidad del conductor imagen es tan grande, que, para cálculos en las zonas adyacentes a las líneas de transmisión, podría ser ignorado, sin una pérdida de precisión significativa.

La profundidad del conductor imagen, es aproximadamente $1{,}31\delta$, donde δ corresponde a la profundidad aparente de la tierra (skin depth), dada por la ecuación:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}} \qquad \text{Ec. 11}$$

La permeabilidad del suelo es cercana a la permeabilidad del aire en la mayoría de las situaciones. ($\mu = 4\pi 10^{-7}$).

Considere un conductor k, con una magnitud de corriente I_k y una fase de ϕ_k. Esta corriente también puede ser expresada de forma cartesiana, como la suma de sus componentes reales e imaginaria:

$$I_k = I_{kr} + jI_{ki}$$

El campo magnético producido por esta corriente tiene una componente horizontal y una componente vertical real y una componente imaginaria, B_{kr} y B_{ki} respectivamente, que a su vez están compuestas por dos componentes ortogonales normales al conductor.

$$B_{krx} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr}(x_m - x_k)}{\sqrt{(x_M - x_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad \text{Ec. 12}$$

$$B_{krh} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr}(h_M - h_k)}{\sqrt{(x_M - x_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$B_{kix} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{ki}(x_m - x_k)}{\sqrt{(x_M - x_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$B_{kih} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{ki}(h_M - h_k)}{\sqrt{(x_M - x_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

- Bkrx: Componente horizontal real del campo magnético
- Bkrh: Componente vertical real del campo magnético
- Bkix: Componente horizontal imaginaria del campo magnético
- Bkih: Componente vertical imaginaria del campo magnético
- XM: Distancia horizontal entre el punto de medida (punto M) y el conductor k-ésimo
- HM: Distancia vertical entre el punto de medida (punto M) y el conductor k-ésimo
- HK: Coordenada Y de conductor k-ésimo

Para una línea de transmisión de n conductores (k=1...n), las componentes reales e imaginarias del campo magnético horizontal en el punto M, se calculan de forma independiente para cada conductor, para luego ser sumadas, como se indica en la Ec. 16.

Una vez determinado el campo vertical y horizontal a partir de la Ec. 17 es posible determinar la magnitud del campo magnético resultante según la Ec. 18.

$$B_{rx} = \sum_k B_{krx} \quad B_{rh} = \sum_k B_{krh} \quad B_{ix} = \sum_k B_{kix} \quad B_{ih} = \sum_k B_{kih} \quad \text{Ec. 16}$$

$$B_x = \sqrt{B_{rx}^2 + B_{ix}^2} \quad B_y = \sqrt{B_{ry}^2 + B_{iy}^2} \quad \text{Ec. 17}$$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad \text{Ec. 18}$$

5. NORMATIVA APLICABLE

En nuestro país, los valores límite permisibles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos de frecuencia industrial provocados por líneas y subestaciones eléctricas están definidos en el Reglamento de Seguridad de las Instalaciones Eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica, promulgado mediante el Decreto 109 del año 2017 del Ministerio de Energía, específicamente en los siguientes instrumentos:

- El Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 "Franja y Distancias de Seguridad", en su punto 4.7, aplicable al diseño de líneas aéreas de corriente alterna de 50 Hz, establece que los límites máximos permisibles de campo electromagnético serán evaluados en el exterior de la franja de seguridad, a 1 metro sobre el nivel del suelo, en condiciones normales de operación de la línea, con los conductores en reposo. En ausencia de regulación técnica nacional, los límites son: 5 kV/m para campo eléctrico (valor RMS) y 100 μT para campo magnético (valor RMS). Asimismo, el punto 4.8 establece que, en caso de ser necesario, deberá ampliarse la franja de seguridad hasta verificar el cumplimiento de los límites indicados.
- El Pliego Técnico Normativo RPTD N°10 "Centrales de Producción y Subestaciones", en su punto 5.1.9, aplicable a subestaciones de transmisión, establece que los límites máximos permisibles de emisión de campo electromagnético serán evaluados fuera del deslinde de la subestación, a 1 metro sobre el nivel del suelo. En ausencia de regulación técnica nacional, los límites son: 5 kV/m para campo eléctrico y 100 μT para campo magnético.

No obstante, lo anterior, la normativa ambiental nacional no establece directamente los límites permitidos de exposición de las personas a los campos electromagnéticos de frecuencia industrial. La regulación ambiental que rige esta materia señala que, de no existir regulación nacional, debe aplicarse como norma de referencia aquella vigente en estados específicos. Al respecto, el RSEIA señala en el artículo 11 "Normas de referencia", lo siguiente:

"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 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."

En este contexto, la referencia internacional de mayor aplicación para la protección de la salud de la población general es la publicada por la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, 2010), que establece niveles de referencia de 5 kV/m para campo eléctrico y 200 µT para campo magnético a 50 Hz. Sin embargo, tanto la Recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE, de 12 de julio de 1999, sobre la limitación de la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) —instrumento vigente aplicable al público general— como la normativa sectorial nacional contenida en el Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 y el Pliego Técnico Normativo RPTD N°10, establecen límites más estrictos respecto del campo magnético, fijando 100 µT a 50 Hz en lugar de los 200 µT recomendados por ICNIRP 2010, mientras que para el campo eléctrico los tres instrumentos coinciden en 5 kV/m.

En virtud de lo anterior, y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 2°, letras c) y d), de la Ley N°19.300 —que comprende la radiación electromagnética como un contaminante susceptible de constituir riesgo para la salud de las personas— y con lo establecido en el Criterio de Evaluación del SEA (2023), que define como objeto de protección el riesgo para la salud de la población en aplicación del artículo 5, letra a), del Reglamento del SEIA, los límites aplicables en la presente DIA para la evaluación de este componente son 5 kV/m para campo eléctrico y 100 µT para campo magnético, correspondientes a los valores más estrictos establecidos tanto por la norma de referencia europea como por la regulación sectorial nacional vigente.

6. ÁREA DE INFLUENCIA

De acuerdo con lo establecido en la Guía Áreas de Influencia en el SEIA (SEA, 2026), los campos electromagnéticos constituyen un atributo del componente Atmósfera en el medio físico, cuya intensidad puede potencialmente afectar objetos de protección del SEIA, como la Salud de la Población. En base a lo indicado y dadas las características del Proyecto, el análisis desarrollado en el presente numeral busca determinar y justificar el área de influencia para los objetos de protección presentes en el área del Proyecto que potencialmente pudieran verse afectados por las emisiones de campos electromagnéticos derivadas de sus partes, acciones u obras.

De esta forma, considerando que el área de influencia corresponde al espacio geográfico donde potencialmente podrían ocurrir eventuales impactos ambientales sobre los objetos de protección receptores, a continuación, se realiza el análisis para determinar y justificar el área de influencia para el componente Campos Electromagnéticos.

6.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS - SALUD DE LA POBLACIÓN

El Proyecto podría generar eventuales impactos ambientales sobre el objeto de protección Salud de la Población, a consecuencia del desarrollo de las obras y actividades que generarán emisiones de campos electromagnéticos en zonas específicas con presencia de receptores humanos, durante la fase de operación del Proyecto. Los eventuales impactos sobre este objeto de protección ocurrirían sobre los receptores humanos ubicados en el área de influencia de las instalaciones y líneas eléctricas del Proyecto.

6.2 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

La determinación del área de influencia del Proyecto sobre el componente campos electromagnéticos se enmarca en lo establecido en el Decreto Supremo N°40/2012, artículo 18, letra e), que exige caracterizar la intensidad de los campos electromagnéticos como parte de la línea de base del medio físico, así como en la Guía Áreas de Influencia en el SEIA (SEA, 2026).

En este contexto, es relevante precisar que, conforme a la Guía AI SEIA 2026, los campos electromagnéticos constituyen un atributo del componente Atmósfera en el medio físico, y no un objeto de protección en sí mismo. Por tanto, la caracterización de la intensidad de los campos electromagnéticos en la línea de base se realiza sobre un área de estudio, mientras que la emisión modelada desde las fuentes del Proyecto corresponde a un área de dispersión. El área de influencia, en cambio, se delimita sobre

el objeto de protección receptor —en este caso la Salud de la Población— y se obtiene intersectando el área de dispersión electromagnética modelada con la ubicación geográfica de los receptores humanos expuestos.

Los criterios técnicos aplicados para la delimitación del área de influencia sobre el objeto de protección Salud de la Población se basaron en:

- El espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y acciones del Proyecto generadoras de emisiones electromagnéticas, así como los eventuales impactos ambientales sobre receptores humanos.
- El tipo y naturaleza de las fuentes generadoras de eventuales impactos sobre el componente, que en este caso corresponde a la operación del seccionamiento Las Delicias (22A.4C), la línea de transmisión Las Delicias – Coiquén 2x66 kV en sus configuraciones (S66.4 y A66.4/R66.4), el marco de línea de la S/E Coiquén 66 kV, y los marcos de línea de la S/E Las Delicias en sus niveles de 220 kV y 66 kV, las cuales generan campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial (50 Hz).

6.3 JUSTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El criterio de delimitación del área de estudio se establece a partir de la atenuación espacial de los campos electromagnéticos generados por las instalaciones eléctricas del Proyecto.

Estos campos experimentan una disminución de su magnitud a medida que aumenta la distancia a la fuente emisora, alcanzando niveles del orden de la exposición ambiental habitual en zonas alejadas.

De acuerdo con antecedentes recopilados por la OMS en el documento Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency Fields, en condiciones habituales de exposición los campos magnéticos pueden alcanzar valores del orden de 0,025 μT, mientras que los campos eléctricos se sitúan en magnitudes del orden de decenas de V/m.

En coherencia con lo anterior, y conforme a lo establecido en la Guía Áreas de Influencia en el SEIA (SEA, 2026), se define el límite del área de estudio en el punto donde la contribución del Proyecto resulta indistinguible de las condiciones habituales a las que se ven expuestas las personas de forma cotidiana. Para estos efectos, se adoptan como valores de corte 0,025 μT para campo magnético y 0,01 kV/m para campo eléctrico, los que corresponden aproximadamente al 0,025% y 0,2% de los límites normativos aplicables para exposición del público general, equivalentes a 100 μT para campo

magnético y 5 kV/m para campo eléctrico, respectivamente, obtenidos a partir de la aplicación más restrictiva de los valores establecidos por la ICNIRP en las Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) (2010), los Pliegos Técnicos Normativos RPTD N°07 y RPTD N°10, y la Recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE.

Las modelaciones de campos electromagnéticos se realizaron bajo condiciones de máxima exigencia, considerando la operación de las instalaciones a máxima capacidad y con la altura mínima reglamentaria de los conductores sobre el nivel del suelo, lo que representa la condición más desfavorable de operación respecto de la emisión de campos electromagnéticos. De esta forma, los resultados obtenidos constituyen una estimación conservadora de la extensión espacial de las emisiones, sobreestimando las condiciones de operación habitual del Proyecto.

Bajo este criterio, el área de estudio se define como una franja o buffer simétrico respecto del eje de cada instalación, cuyo ancho queda determinado por la distancia a la cual los niveles de campo eléctrico y campo magnético descienden hasta los valores de corte adoptados.

Las distancias determinadas para cada instalación del Proyecto se presentan en la **Tabla 6-1** y la **Tabla 6-2** siguientes

Tabla 6-1. Distancias de corte para campo eléctrico desde el eje de la instalación

Instalación	Coordenada de corte izquierda [m]	Coordenada de corte derecha [m]
Seccionamiento Las Delicias (22A.4C)	-125,5	125,5
Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4)	-36,5	36,5
Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	-36,0	36,0
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	11,0	85,0
ML S/E Las Delicias 220 kV	-19,0	148,0
ML S/E Las Delicias 66 kV	-24,0	50,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-2. Distancias de corte para campo magnético desde el eje de la instalación

Instalación	Coordenada de corte izquierda [m]	Coordenada de corte derecha [m]
Seccionamiento Las Delicias (22A.4C)	-157,5	157,5
Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4)	-55,0	55,0
Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	-45,5	45,5
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	-96,5	192,5

Tabla 6-1. Distancias de corte para campo eléctrico desde el eje de la instalación

Instalación	Coordenada de corte izquierda [m]	Coordenada de corte derecha [m]
ML S/E Las Delicias 220 kV	-338,0	467,0
ML S/E Las Delicias 66 kV	-131,5	157,5

Fuente: Elaboración propia.

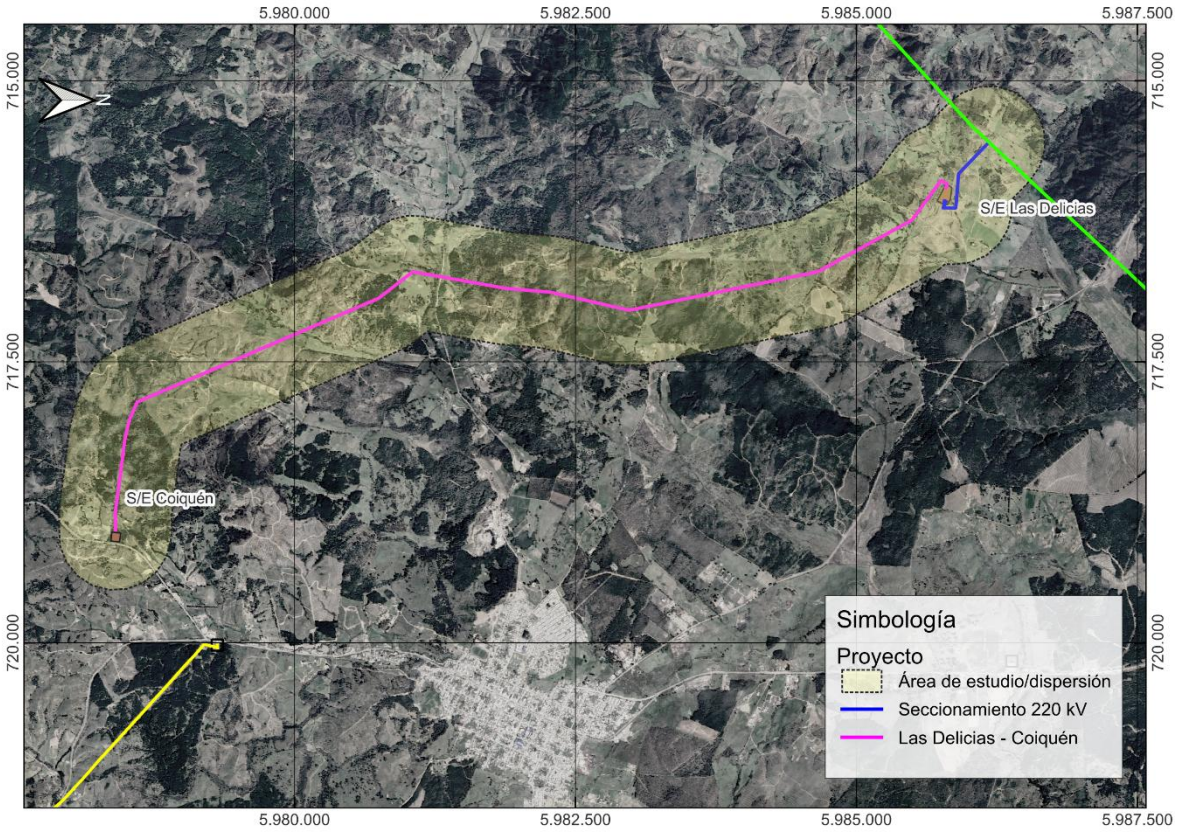
Del análisis de los resultados obtenidos, se aprecia que el campo magnético constituye el parámetro de mayor alcance espacial en la totalidad de las instalaciones modeladas, superando en todos los casos las distancias de corte obtenidas para el campo eléctrico.

De forma conservadora, se adopta un área de estudio única para la totalidad de las obras del Proyecto, definida como un buffer simétrico de ±500 m respecto del eje o centro de cada instalación. Este valor, superior al mayor valor de corte absoluto obtenido para el campo magnético en el marco de línea de la S/E Las Delicias 220 kV (467 m), se aplica de manera homogénea al conjunto de obras del Proyecto —incluyendo el seccionamiento Las Delicias, la línea de transmisión 2x66 kV Las Delicias – Coiquén y las subestaciones asociadas.

Por lo tanto, el área de estudio corresponderá a una estimación conservadora del área de dispersión electromagnética del Proyecto. En dicha área, posteriormente se verificará la existencia de receptores humanos, a efectos de determinar una eventual el área de influencia y el efecto específico sobre cada receptor.

El área definida se presenta en la Figura 6-1.

Figura 6-1 Área de estudio/dispersión



Fuente: Elaboración propia.

7. MODELACIÓN

A continuación, se presenta el resultado de las simulaciones de los campos electromagnéticos ocasionados por las instalaciones proyectadas, verificando los resultados obtenidos con los límites establecidos por la normativa de referencia (Recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE), de acuerdo con lo indicado en la sección 5 del presente documento.

En particular, se consideran las siguientes instalaciones del Proyecto:

- Seccionamiento Las Delicias (22A.4C)
- Línea de transmisión Las Delicias – Coiquén 2x66 kV
- Estructura de suspensión (S66.4)
- Estructura de anclaje/remate (A66.4/R66.4)
- Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV
- Marco de Línea S/E Las Delicias 220 kV
- Marco de Línea S/E Las Delicias 66 kV

Las modelaciones se realizaron considerando como escenario de peor condición la altura mínima reglamentaria de los conductores sobre el nivel del suelo, establecida en la Tabla N°5 del Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 "Franja y Distancias de Seguridad" para zonas no transitables mediante la expresión 6,00 + 0,006 × V (kV). Los valores resultantes para cada nivel de tensión del Proyecto se presentan en la **Tabla 7-1**.

Tabla 7-1. Altura mínima reglamentaria de conductores según tensión nominal

Tensión nominal [kV]	Fórmula RPTD N°07 (Tabla N°5)	Altura mínima zona no transitable [m]
66	6,00 + 0,006 × 66	6,40
220	6,00 + 0,006 × 220	7,32

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones generales consideradas en la modelación —incluyendo tensión, corriente máxima de diseño, potencia, altura mínima reglamentaria y franja de seguridad mínima para cada instalación— se resumen en la **Tabla 7-2**. Para el caso de las subestaciones eléctricas, la franja de seguridad se evalúa desde el deslinde de la instalación medido en dirección paralela al perfil transversal modelado.

Tabla 7-2. Resumen de las condiciones generales de la modelación

Instalación	Tensión [kV]	Corriente [A]	Potencia [MVA]	Altura mínima [m]	Franja de seguridad izquierda [m]	Franja de seguridad derecha [m]
Seccionamiento Las Delicias (22A.4C)	220	1.272	484,7	7,32	-15,5	15,5
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	66	403	46,1	6,4	-10,5	10,5
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	66	403	46,1	6,4	-10,5	10,5
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	66	403	46,1	3,2	0	78,0
ML S/E Las Delicias 220 kV	220	1.272	484,7	4,7	0	96,0
ML S/E Las Delicias 66 kV	66	403	46,1	3,2	0	62,0

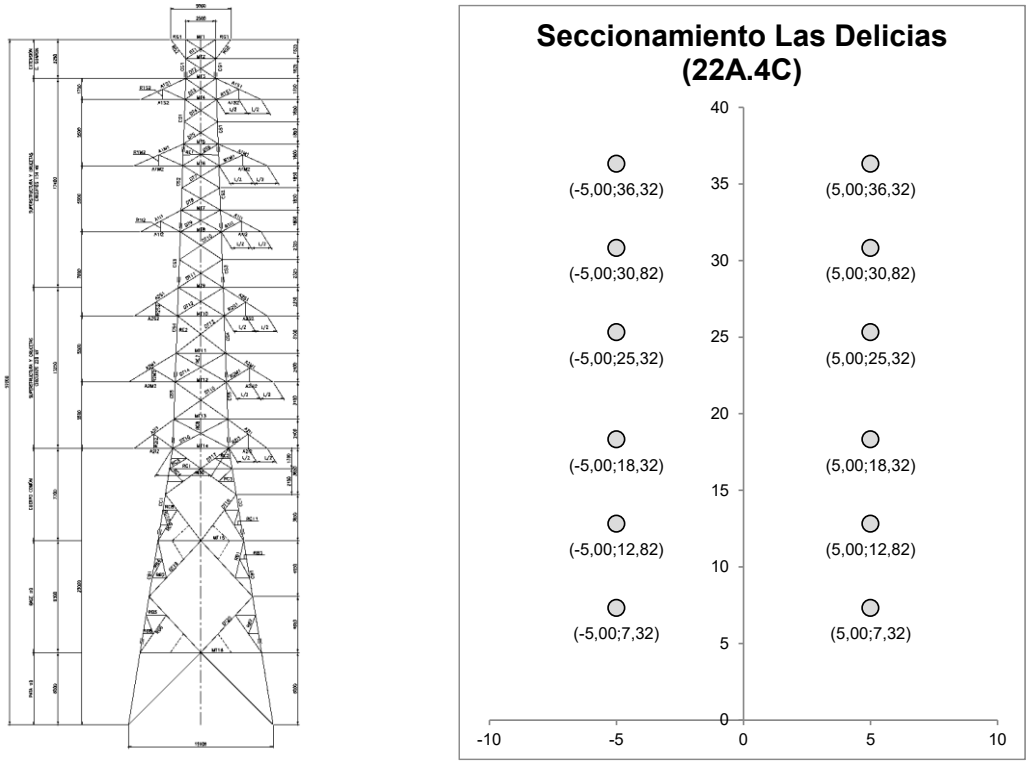
Fuente: Elaboración propia.

7.1 SECCIONAMIENTO LAS DELICIAS (22A.4C)

Se modela el seccionamiento Las Delicias en configuración de cuatro circuitos verticales, operando a 220 kV con una corriente máxima de diseño de 1.272 A por circuito, correspondiente a una potencia de 484,7 MVA. Se considera conductor tipo ACAR 700 en configuración bundle de 2 conductores por fase, en su condición de altura mínima reglamentaria como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a una estructura simétricas con dos circuitos por lado, tal como se aprecia en la **Figura 7-1**.

Figura 7-1 Silueta de estructura **modelada junto con las coordenadas asociadas a cada conductor**



Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 7-3** se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 3.2 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 7-3. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Seccionamiento (22A.4C)	-5	7,32	a	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	-5	12,82	b	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	-5	18,32	c	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	-5	25,32	a	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272

Tabla 7-3. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Seccionamiento (22A.4C)	-5	30,82	b	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	-5	36,32	c	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	5	36,32	c	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	5	30,82	b	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	5	25,32	a	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	5	18,32	c	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272
Seccionamiento (22A.4C)	5	12,82	b	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1.272

Fuente: Elaboración propia.

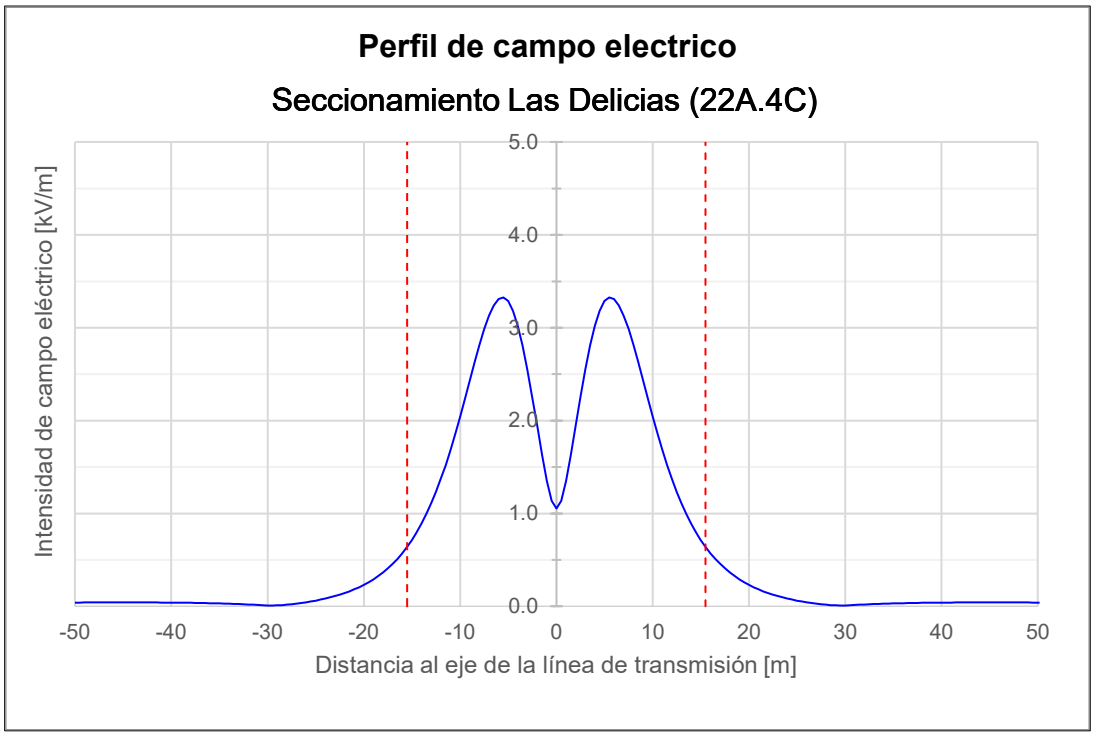
Donde:

- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

7.1.1 Cálculo del campo eléctrico

En la **Figura 7-2** se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por el seccionamiento Las Delicias (22A.4C), expresado en kV/m, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±15,5 m). En la **Tabla 7-4** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 7-2 Perfil de campo eléctrico — Secc. Las Delicias (22A.4C)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-4. Resultados perfil de campo eléctrico — Secc. Las Delicias (22A.4C)

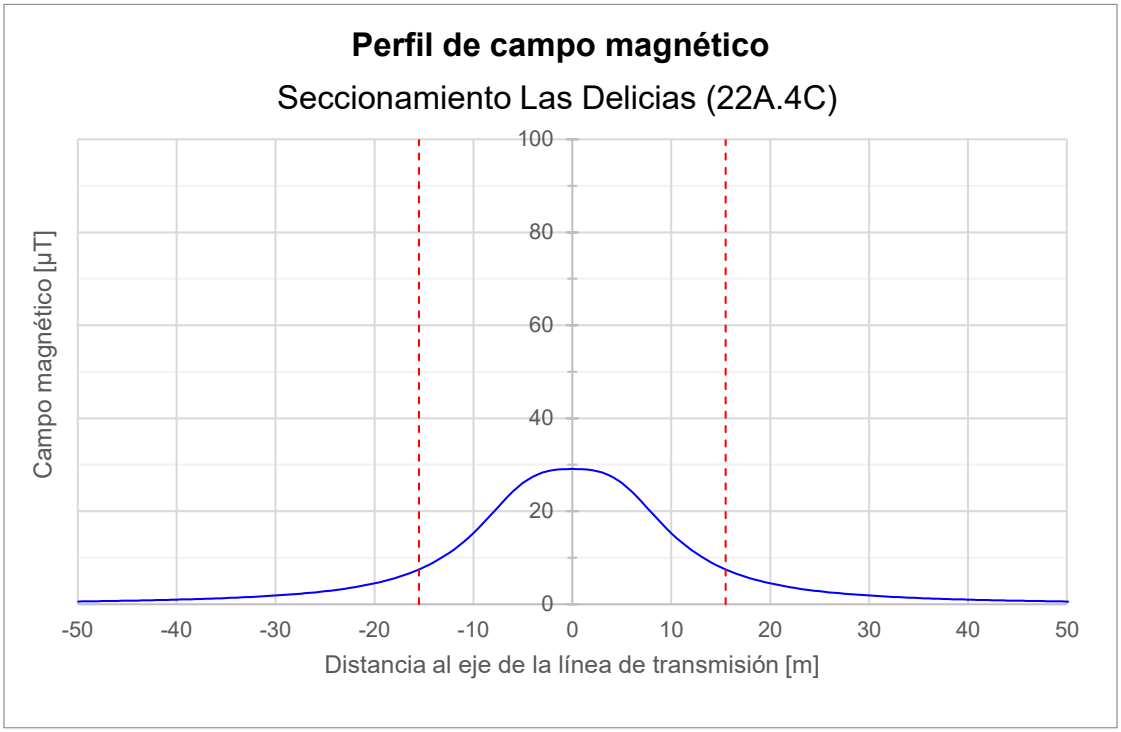
Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	15,50	1	0,64	5	12,8%
Limite franja seguridad izquierda	-15,50	1	0,64	5	12,8%
Valor máximo en perfil	-5,50	1	3,33	5	66,5%

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Cálculo del campo magnético

En la **Figura 7-3** se presenta el perfil transversal de campo magnético generado por el seccionamiento Las Delicias (22A.4C), expresado en μT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±15,5 m) y mediante línea horizontal el límite normativo aplicable de 100 μT. En la **Tabla 7-5** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en μT y como porcentaje del límite normativo.

Figura 7-3 Perfil de campo magnético — Secc. Las Delicias (22A.4C)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-5. Resultados perfil de campo magnético — Secc. Las Delicias (22A.4C)

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	15,50	1	7,45	100	7,4%
Limite franja seguridad izquierda	-15,50	1	7,45	100	7,4%
Valor máximo en perfil	0,00	1	29,08	100	29,1%

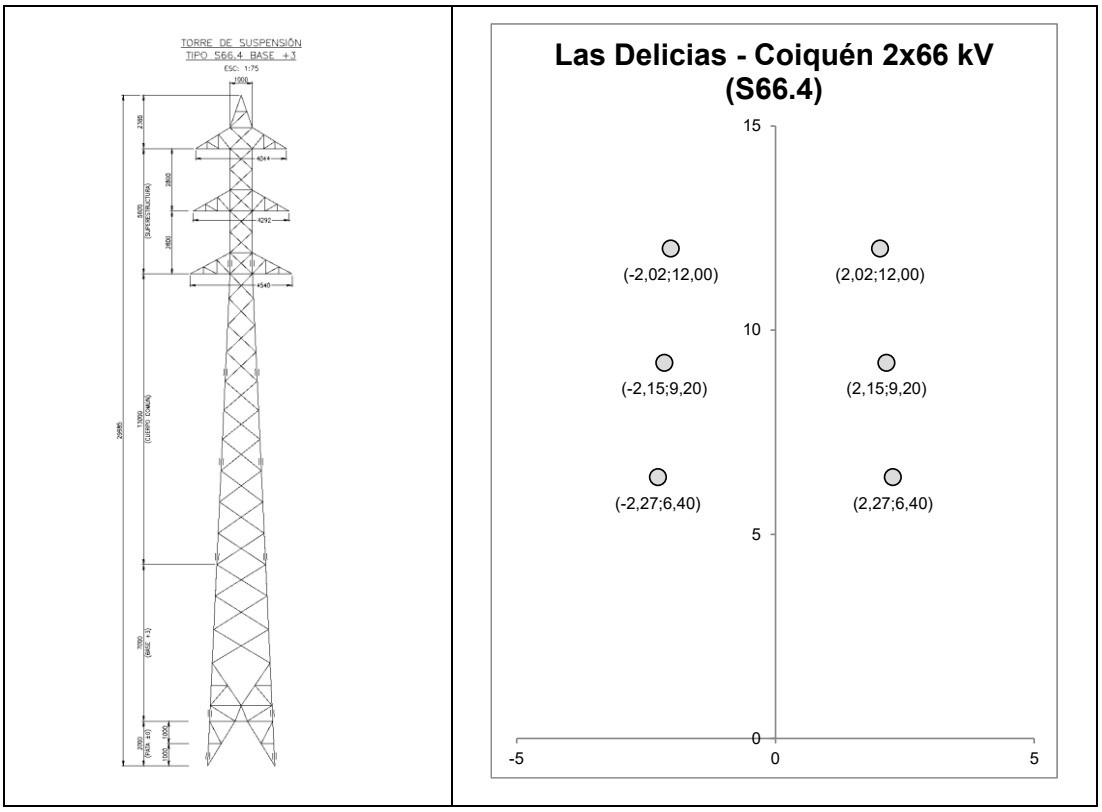
Fuente: Elaboración propia.

7.2 LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (S66.4)

Se modela la línea de transmisión Las Delicias – Coiquén 2x66 kV en su configuración de estructura de suspensión (S66.4), operando a 66 kV con una corriente máxima de diseño de 403 A por circuito, correspondiente a una potencia de 46,1 MVA. Se considera conductor tipo AAAC CAIRO, un conductor por fase, en su condición de altura mínima reglamentaria (6,4 m) como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a una estructura reticulada de doble circuito, tal como se aprecia en la **Figura 7-4**.

Figura 7-4 Silueta de estructura modelada junto con las coordenadas asociadas a cada conductor



En la **Tabla 7-6** se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 3.2 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 7-6. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	-2,27	6,4	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	-2,146	9,2	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403

Tabla 7-6. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	-2,022	12	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	2,022	12	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	2,146	9,2	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (S66.4)	2,27	6,4	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403

Fuente: Elaboración propia.

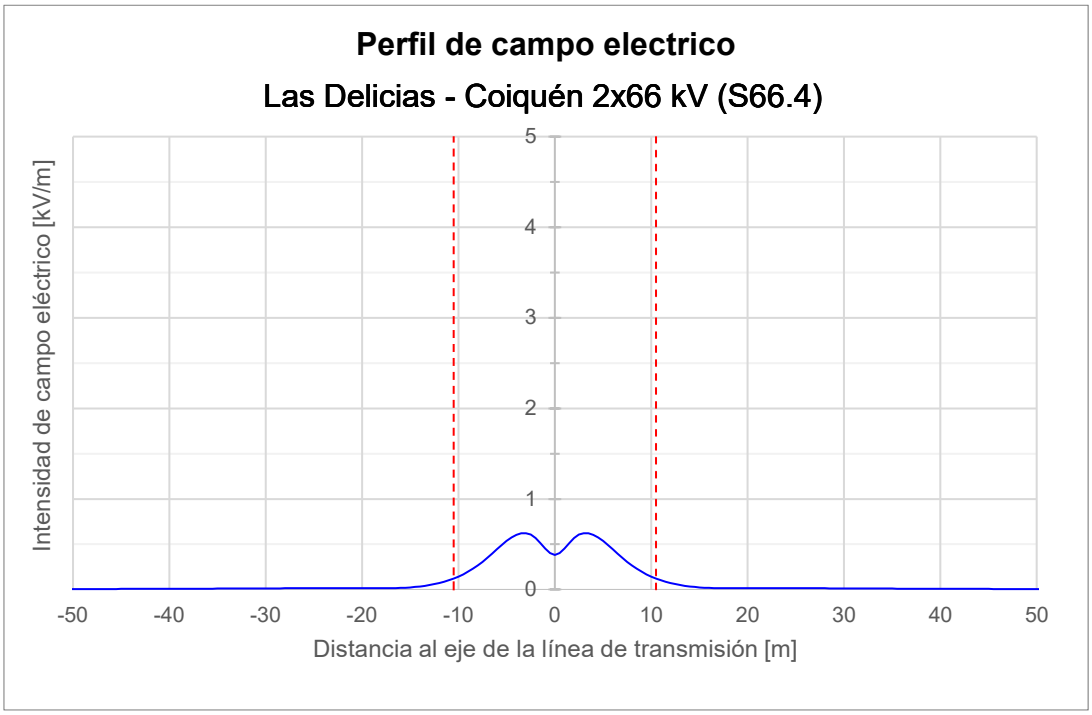
Donde:

- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

7.2.1 Cálculo del campo eléctrico

En la **Figura 7-5** se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por la línea Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4), expresado en kV/m, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±10,5 m). En la **Tabla 7-7** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 7-5 Perfil de campo eléctrico — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-7. Resultados perfil de campo eléctrico — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4)

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	10,50	1	0,12	5	2,4%
Limite franja seguridad izquierda	-10,50	1	0,12	5	2,4%
Valor máximo en perfil	3,00	1	0,62	5	12,5%

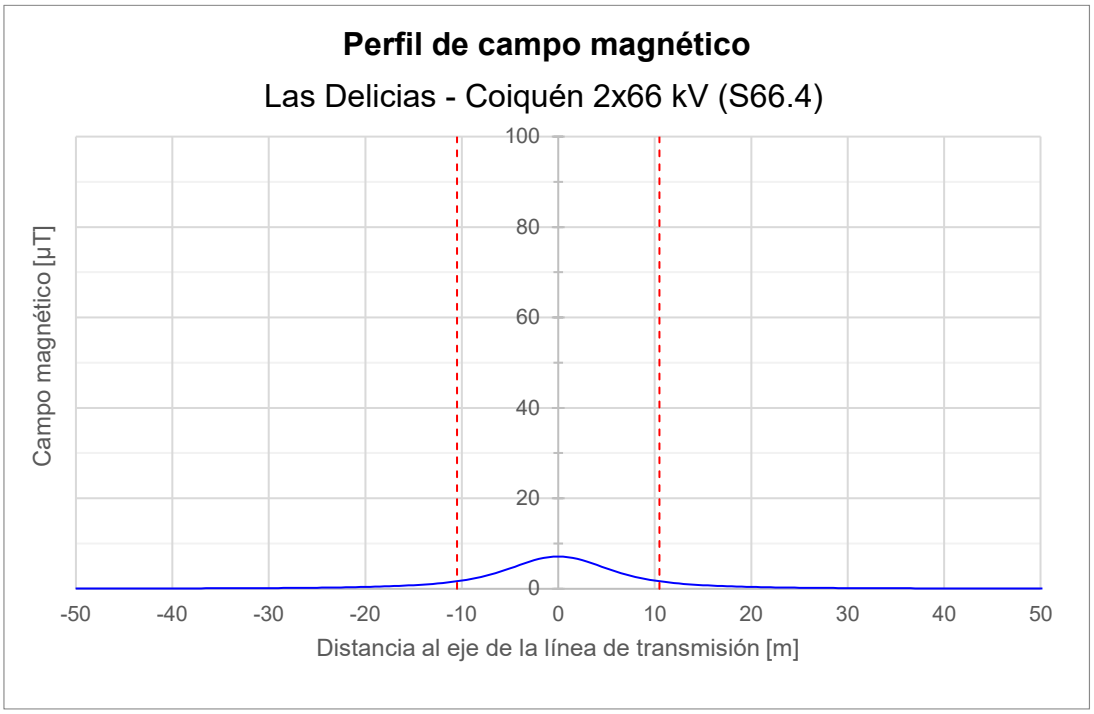
Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Cálculo del campo magnético

En la

Figura 7-6 se presenta el perfil transversal de campo magnético generado por la línea Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4), expresada en μT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±10,5 m). En la Tabla 7-8 se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en μT y como porcentaje del límite normativo de 100 μT.

Figura 7-6 Perfil de campo magnético — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-8. Resultados perfil de campo magnético — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (S66.4)

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	10,50	1	1,64	100	1,6%
Limite franja seguridad izquierda	-10,50	1	1,64	100	1,6%
Valor máximo en perfil	0,00	1	7,11	100	7,1%

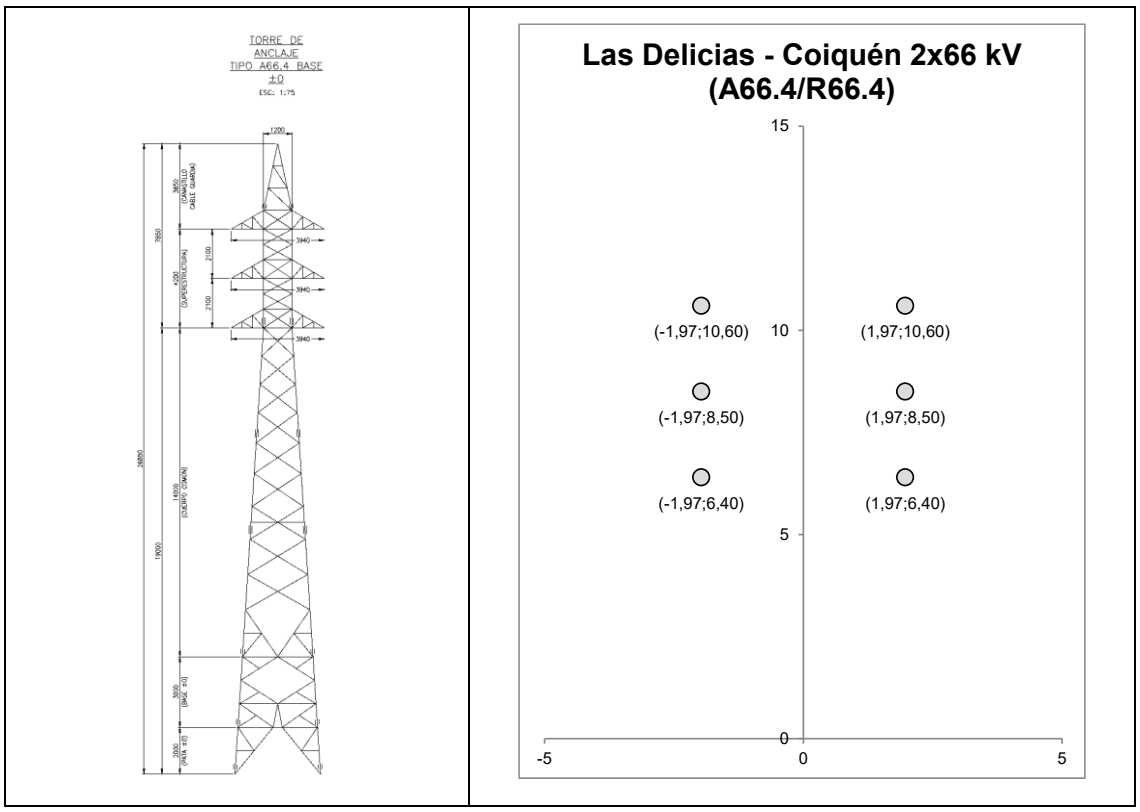
Fuente: Elaboración propia.

7.3 LAS DELICIAS – COIQUÉN 2X66 KV (A66.4/R66.4)

Se modela la línea de transmisión Las Delicias – Coiquén 2x66 kV en su configuración de estructura de anclaje/remate (A66.4/R66.4), operando a 66 kV con una corriente máxima de diseño de 403 A por circuito, correspondiente a una potencia de 46,1 MVA. Se considera conductor tipo AAAC CAIRO, un conductor por fase, en su condición de altura mínima reglamentaria (6,4 m) como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a una estructura reticulada de doble circuito, tal como se aprecia en la **Figura 7-7**.

Figura 7-7 Silueta de estructura modelada junto con las coordenadas asociadas a cada conductor



Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 7-9** se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 3 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 7-9. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	-1,97	6,4	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403

Tabla 7-9. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	-1,97	8,5	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	-1,97	10,6	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	1,97	10,6	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	1,97	8,5	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Las Delicias - Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)	1,97	6,4	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403

Fuente: Elaboración propia.

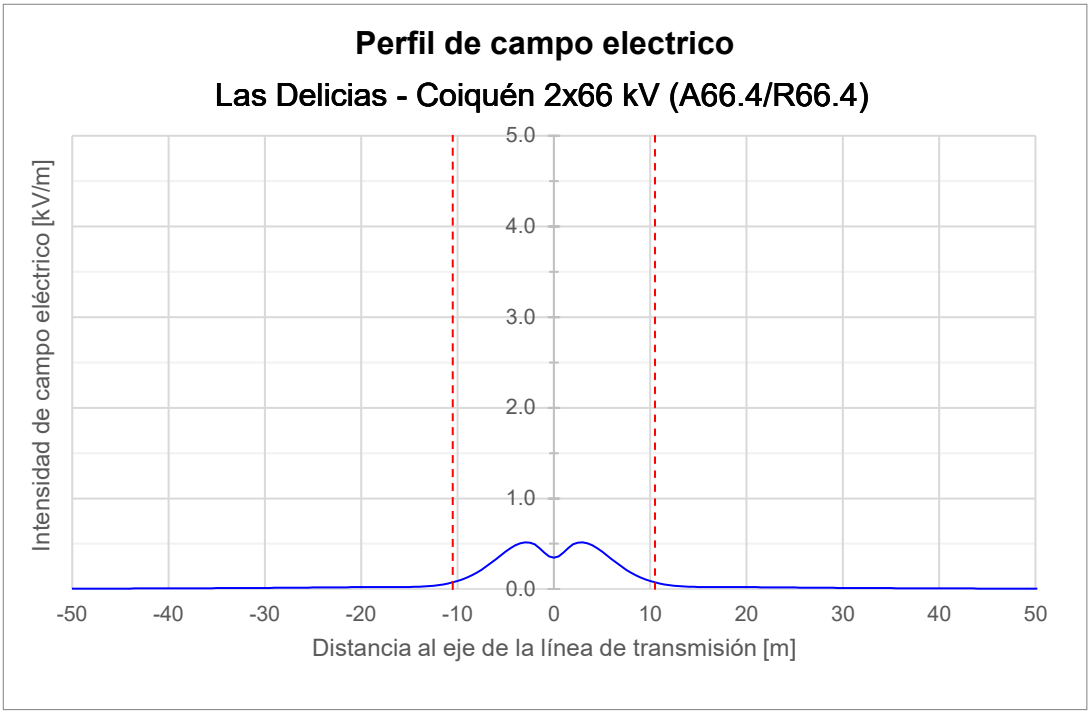
Donde:

- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

7.3.1 Cálculo del campo eléctrico

En la **Figura 7-8** se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por la línea Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4), expresado en kV/m, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±10,5 m). En la **Tabla 7-10** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 7-8 Perfil de campo eléctrico - Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-10. Resultados perfil de campo eléctrico — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)

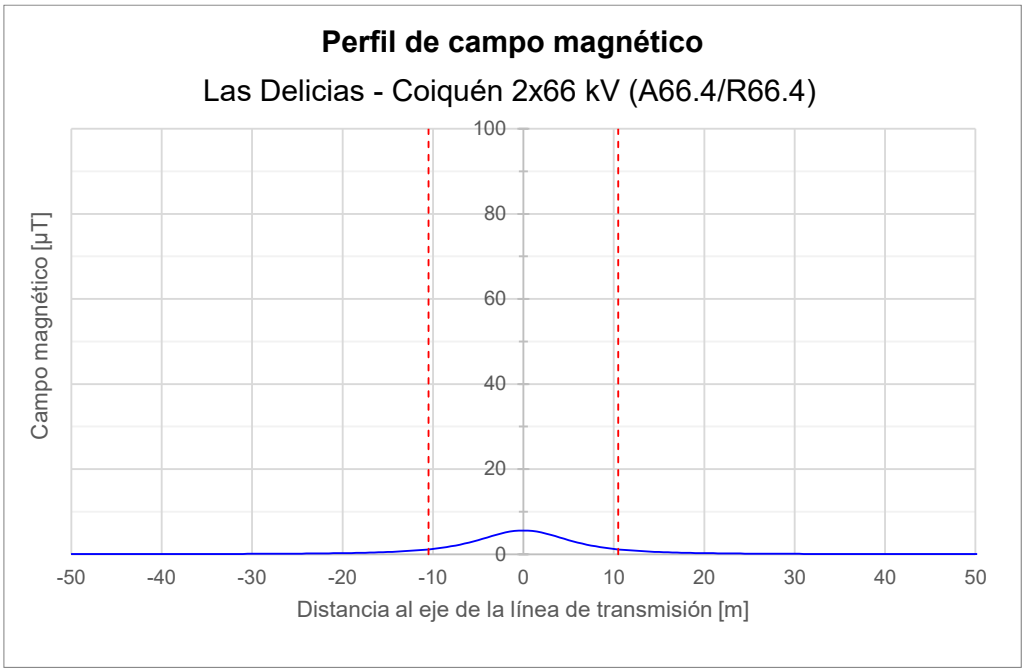
Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	10,50	1	0,07	5	1,5%
Limite franja seguridad izquierda	-10,50	1	0,07	5	1,5%
Valor máximo en perfil	3,00	1	0,52	5	10,3%

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Cálculo del campo magnético

En la **Figura 7-9** se presenta el perfil transversal del campo magnético generado por la línea Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4), expresada en µT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±10,5 m). En la **Tabla 7-11** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en µT y como porcentaje del límite normativo de 100 µT.

Figura 7-9 Perfil de campo magnético — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-11. Resultados perfil de campo magnético — Las Delicias – Coiquén 2x66 kV (A66.4/R66.4)

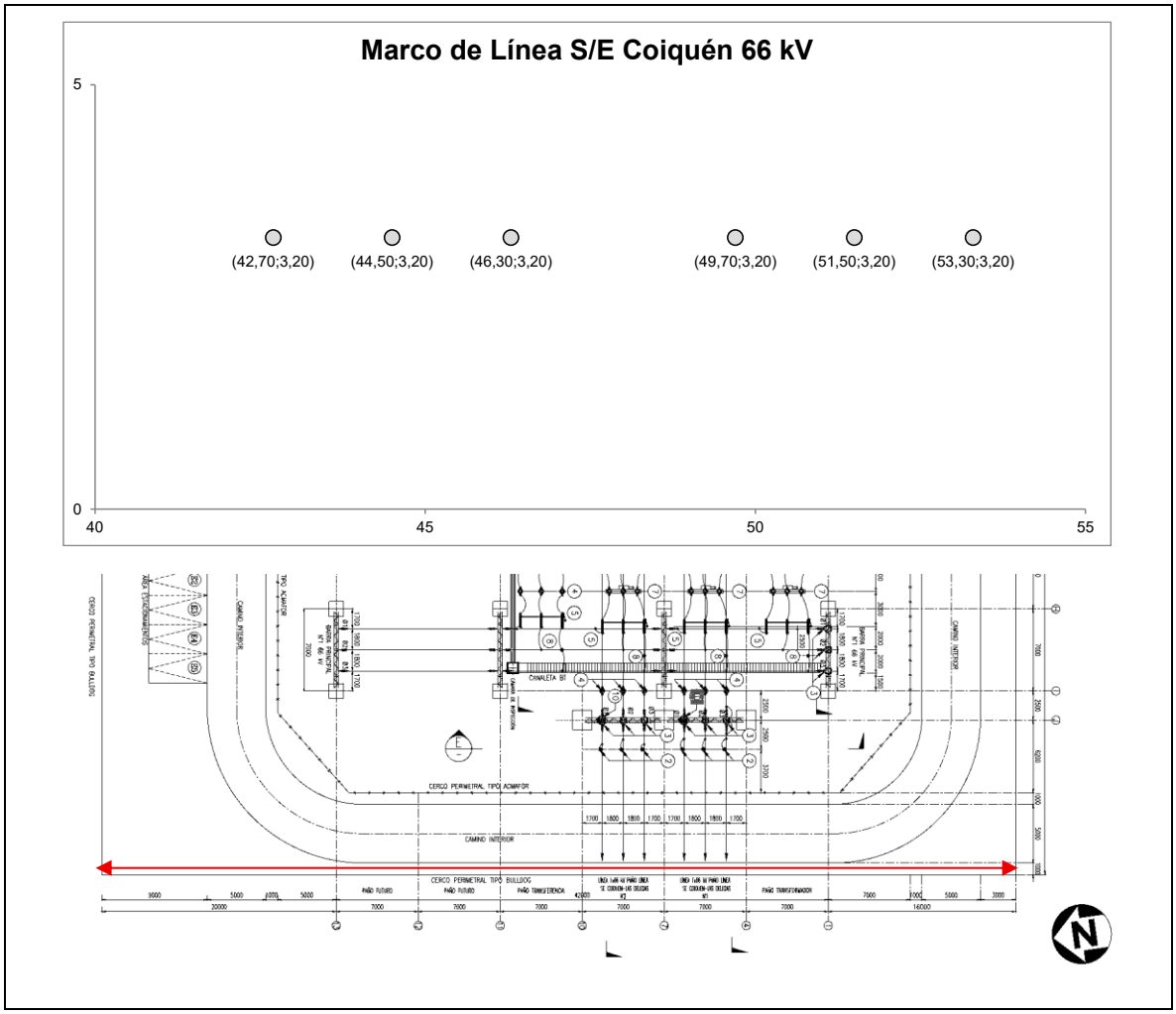
Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	10,50	1	1,13	100	1,1%
Limite franja seguridad izquierda	-10,50	1	1,13	100	1,1%
Valor máximo en perfil	0,00	1	5,57	100	5,6%

Fuente: Elaboración propia.

7.4 MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E COIQUÉN 66 KV

Se modela el marco de línea de la Nueva Subestación Coiquén en el nivel de 66 kV, operando a 66 kV con una corriente máxima de diseño de 403 A, correspondiente a una potencia de 46,1 MVA. Se considera conductor tipo AAAC CAIRO, un conductor por fase, en su condición de altura mínima de acuerdo con los planos de diseño (3,2 m) como escenario más desfavorable para la configuración analizada, tal como se aprecia en la **Figura 7-10**.

Figura 7-10 Perfil del marco de línea modelado junto con las coordenadas asociadas a cada conductor



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7-12 se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán

utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 4 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 7-12. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	42,7	3,2	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	44,5	3,2	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	46,3	3,2	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	49,7	3,2	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	51,5	3,2	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV	53,3	3,2	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

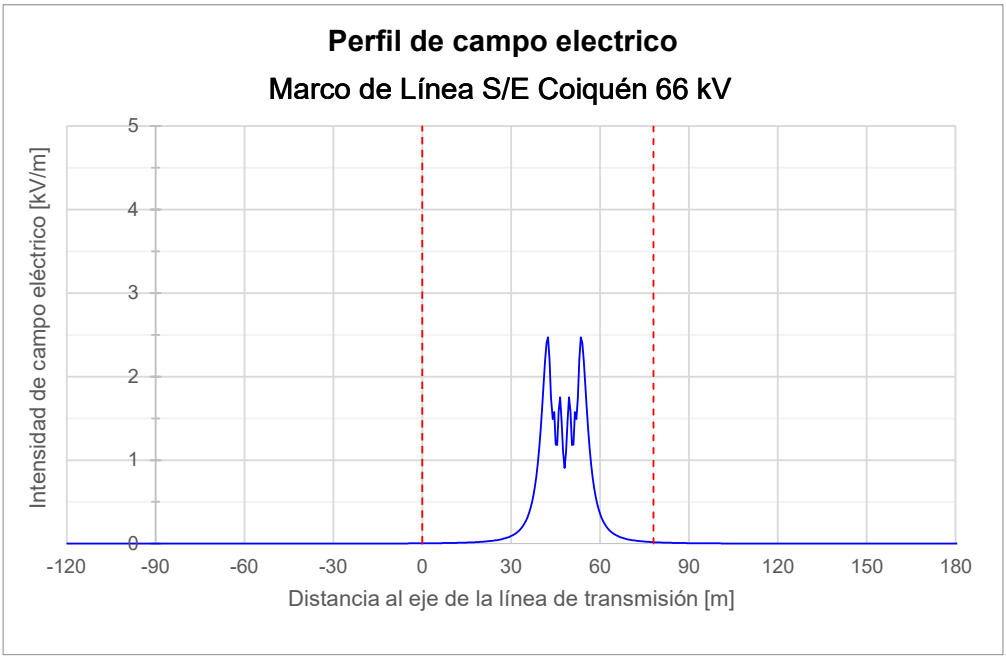
- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

7.4.1 Cálculo del campo eléctrico

En la **Figura 7-11** se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por el marco de línea de la Nueva S/E Coiquén 66 kV, expresado en kV/m, en función de la

distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (0 m a 78,0 m). En la **Tabla 7-13** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 7-11 Perfil de campo eléctrico — Marco de Línea Nueva S/E Coiquén 66 kV



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-13. Resultados perfil de campo eléctrico — Marco de Línea S/E Coiquén 66 kV

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	78,00	1	0,02	5	0,4%
Limite franja seguridad izquierda	0,00	1	0,00	5	0,1%
Valor máximo en perfil	42,50	1	2,47	5	49,4%

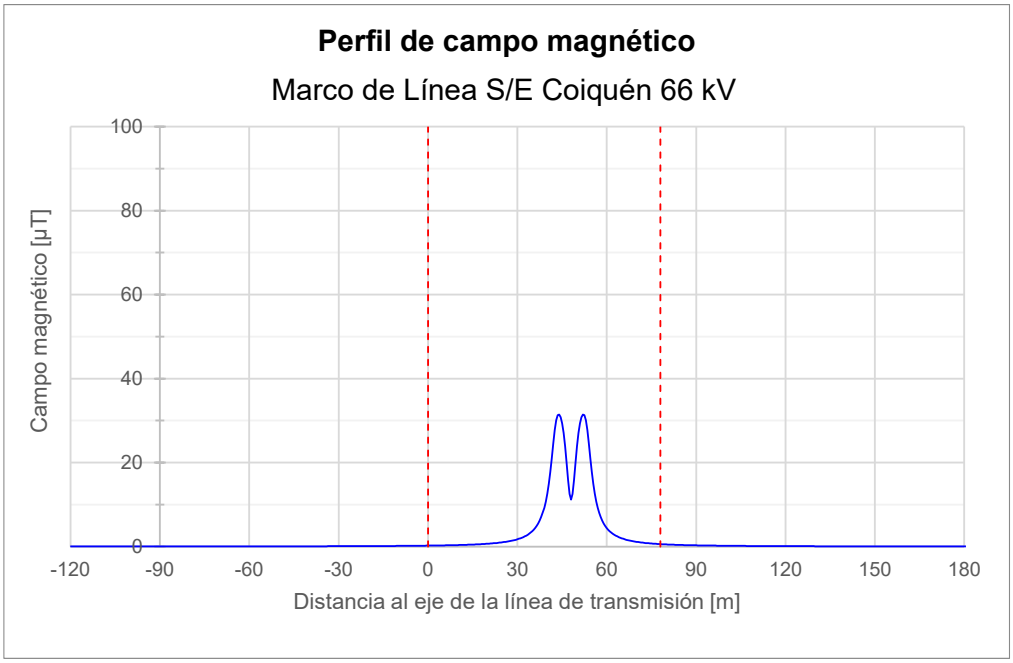
Fuente: Elaboración propia.

7.4.2 Cálculo del campo magnético

En la **Figura 7-12** se presenta el perfil transversal del campo magnético generado por el marco de línea de la S/E Coiquén 66 kV, expresada en μT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites

de la franja de seguridad (0 m a 78,0 m). En la **Tabla 7-14** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en µT y como porcentaje del límite normativo de 100 µT.

Figura 7-12 Perfil de campo magnético — Marco de Línea Nueva S/E Coiquén 66 kV



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-14. Resultados perfil de campo magnético — Marco de Línea Nueva S/E Coiquén 66 kV

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	78,00	1	0,58	100	0,6%
Limite franja seguridad izquierda	0,00	1	0,22	100	0,2%
Valor máximo en perfil	44,00	1	31,45	100	31,5%

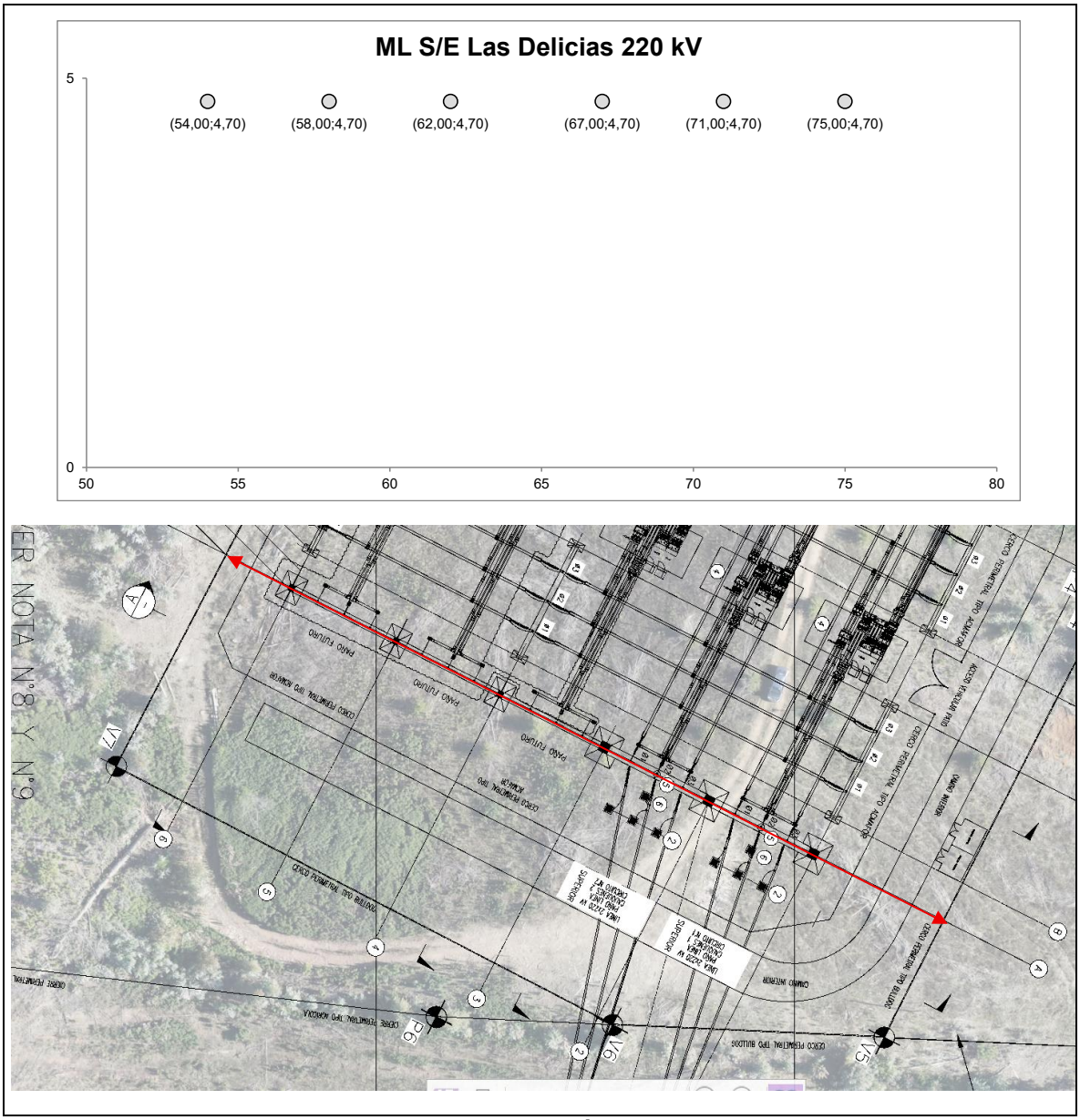
Fuente: Elaboración propia.

7.5 MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 220 KV

Se modela el marco de línea de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias en el nivel de 220 kV, operando a 220 kV con una corriente máxima de diseño de 1.272 A,

correspondiente a una potencia de 484,7 MVA. Se considera conductor tipo ACAR 700 en configuración bundle de 2 conductores por fase, en su condición de altura mínima de acuerdo a los planos de diseño (4,7 m) como escenario más desfavorable para la configuración analizada, tal como se aprecia en la **Figura 7-13**.

Figura 7-13 Perfil del marco de línea modelado junto con las coordenadas asociadas a cada conductor



Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 7-15** se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 4 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 7-15. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
ML S/E Las Delicias 220 kV	54	4,7	a	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1272
ML S/E Las Delicias 220 kV	58	4,7	b	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1272
ML S/E Las Delicias 220 kV	62	4,7	c	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1272
ML S/E Las Delicias 220 kV	67	4,7	a	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1272
ML S/E Las Delicias 220 kV	71	4,7	b	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1272
ML S/E Las Delicias 220 kV	75	4,7	c	ACAR 700	0,012225	0,012225	2	220	1272

Fuente: Elaboración propia.

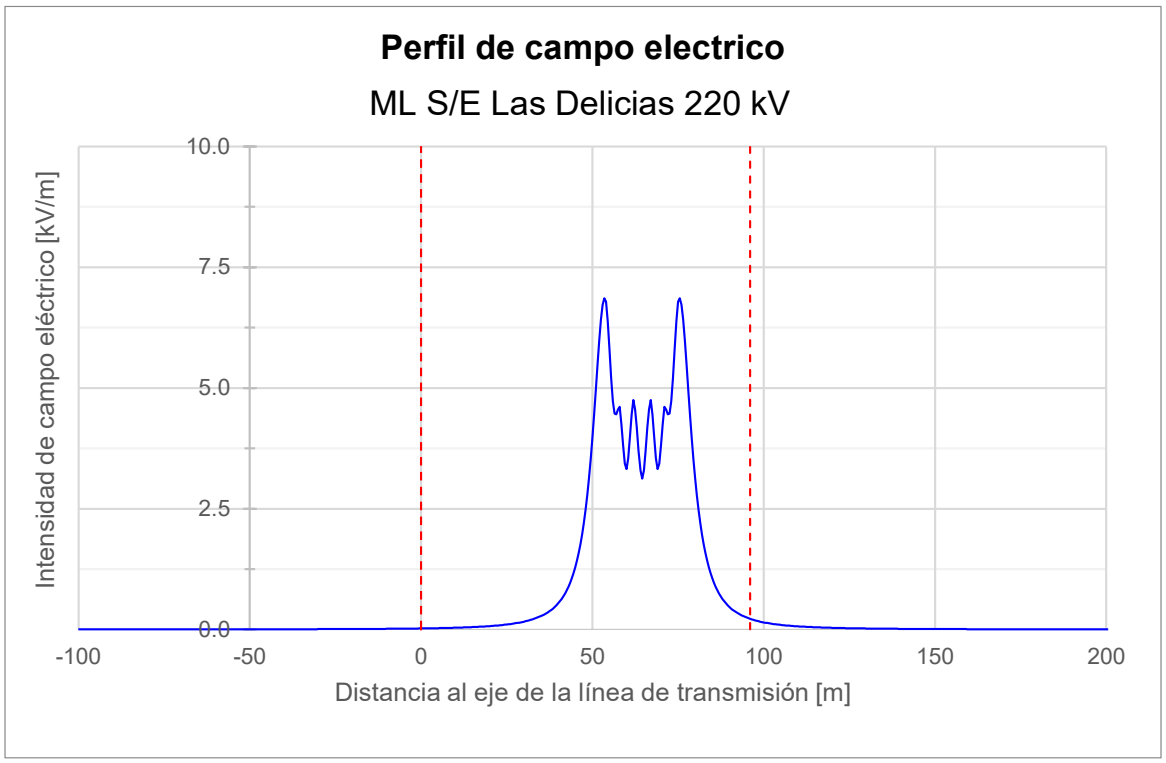
Donde:

- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

7.5.1 Cálculo del campo eléctrico

En la **Figura 7-14** se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por el marco de línea de la S/E Las Delicias 220 kV, expresado en kV/m, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (0 m a 96,0 m). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 7-14 Perfil de campo eléctrico — ML Nueva S/E Seccionadora Las Delicias 220 kV



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-16 Resumen valores franja de seguridad y valor máximo registrado

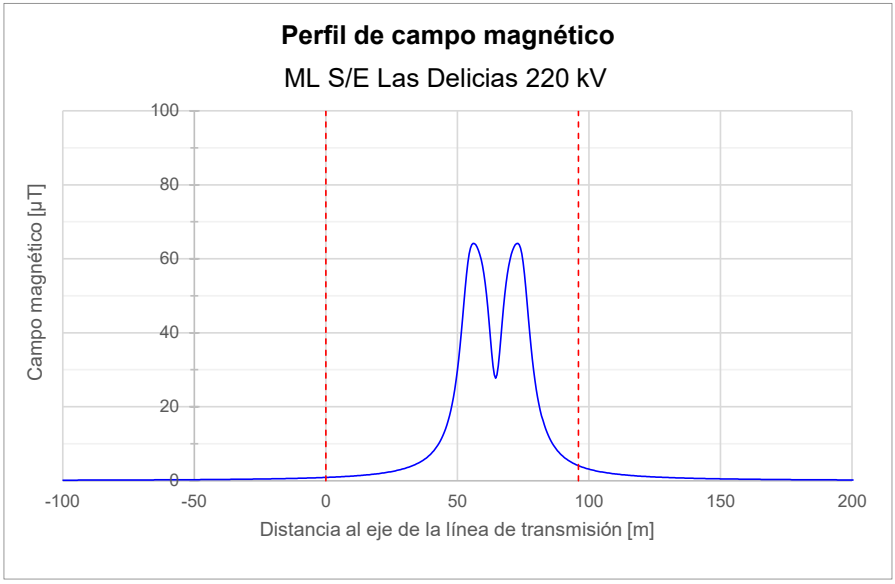
Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	96,00	1	0,22	5	4,4%
Limite franja seguridad izquierda	0,00	1	0,02	5	0,4%
Valor máximo en perfil	75,50	1	6,86	5	137,2%[1]

Fuente: Elaboración propia.

7.5.2 Cálculo del campo magnético

En la **Figura 7-15** se presenta el perfil transversal del campo magnético generado por el marco de línea de la S/E Las Delicias 220 kV, expresada en µT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (0 m a 96,0 m). En la **Tabla 7-17** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en µT y como porcentaje del límite normativo de 100 µT.

Figura 7-15 Perfil de campo magnético — ML Nueva S/E Seccionadora Las Delicias 220 kV



Fuente: Elaboración propia.

[1] Aunque el valor de campo eléctrico supera el límite de 5 kV/m, los valores límites son exigibles fuera de los límites de la franja de seguridad o en el exterior de la subestación eléctrica. En este caso, el valor máximo ocurre dentro de la subestación.

Tabla 7-17. Resultados perfil de campo magnético — ML Nueva S/E Seccionadora Las Delicias 220 kV

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	96,00	1	4,07	100	4,1%
Limite franja seguridad izquierda	0,00	1	0,88	100	0,9%
Valor máximo en perfil	73,00	1	64,14	100	64,1%

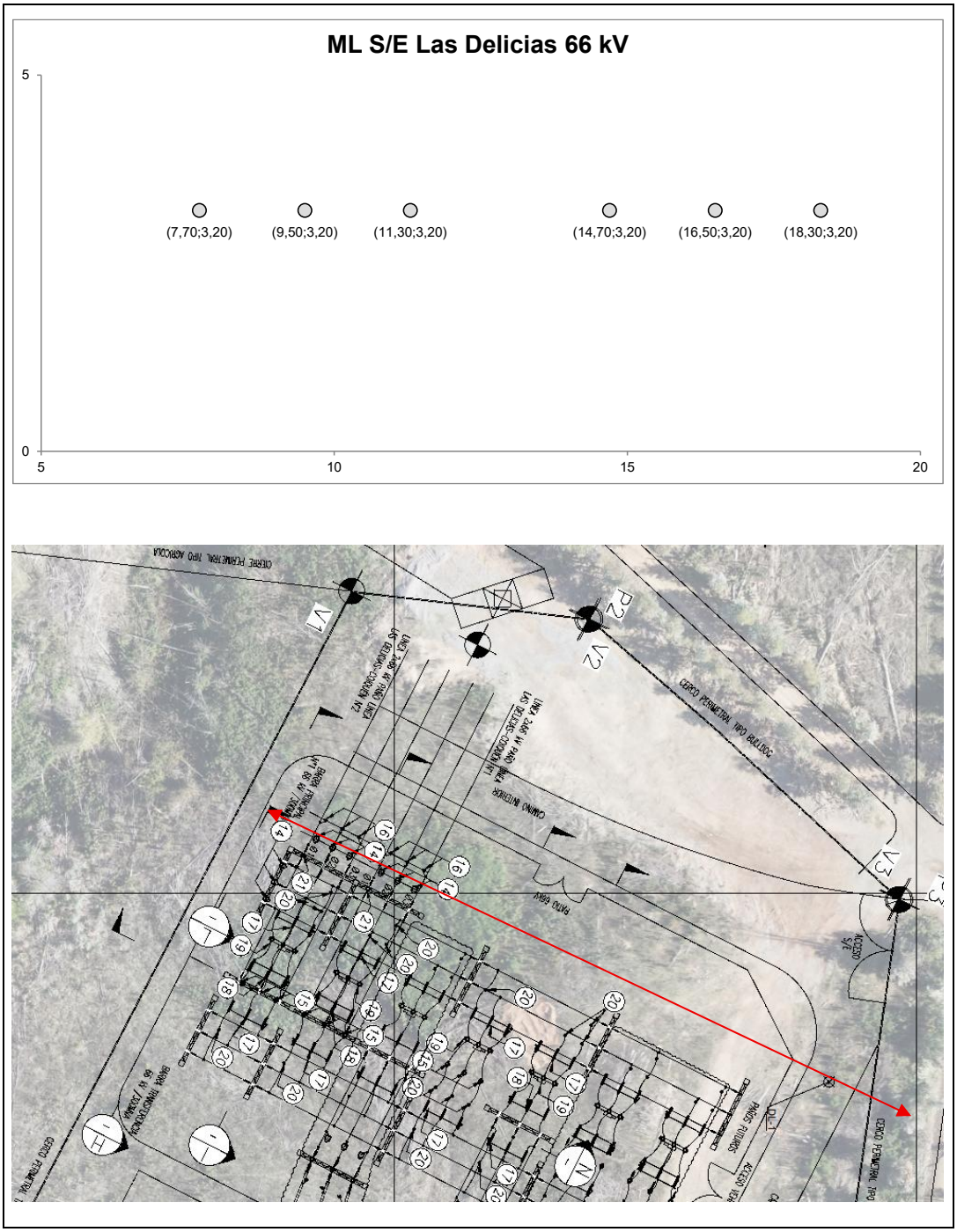
Fuente: Elaboración propia.

7.6 MARCO DE LÍNEA NUEVA S/E SECCIONADORA LAS DELICIAS 66 KV

Se modela el marco de línea de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias en el nivel de 66 kV, operando a 66 kV con una corriente máxima de diseño de 403 A, correspondiente a una potencia de 46,1 MVA. Se considera conductor tipo AAAC CAIRO, un conductor por fase, en su condición de altura mínima de acuerdo a los planos de diseño (3,2 m) como escenario más desfavorable para la configuración analizada, tal como se aprecia en la

Figura 7-16.

Figura 7-16 Perfil del marco de línea modelado junto con las coordenadas asociadas a cada conductor



Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 7-18** se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 4 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 7-18. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
ML S/E Las Delicias 66 kV	7,7	3,2	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
ML S/E Las Delicias 66 kV	9,5	3,2	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
ML S/E Las Delicias 66 kV	11,3	3,2	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
ML S/E Las Delicias 66 kV	14,7	3,2	a	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
ML S/E Las Delicias 66 kV	16,5	3,2	b	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403
ML S/E Las Delicias 66 kV	18,3	3,2	c	AAAC CAIRO	0,005	0,005	1	66	403

Fuente: Elaboración propia.

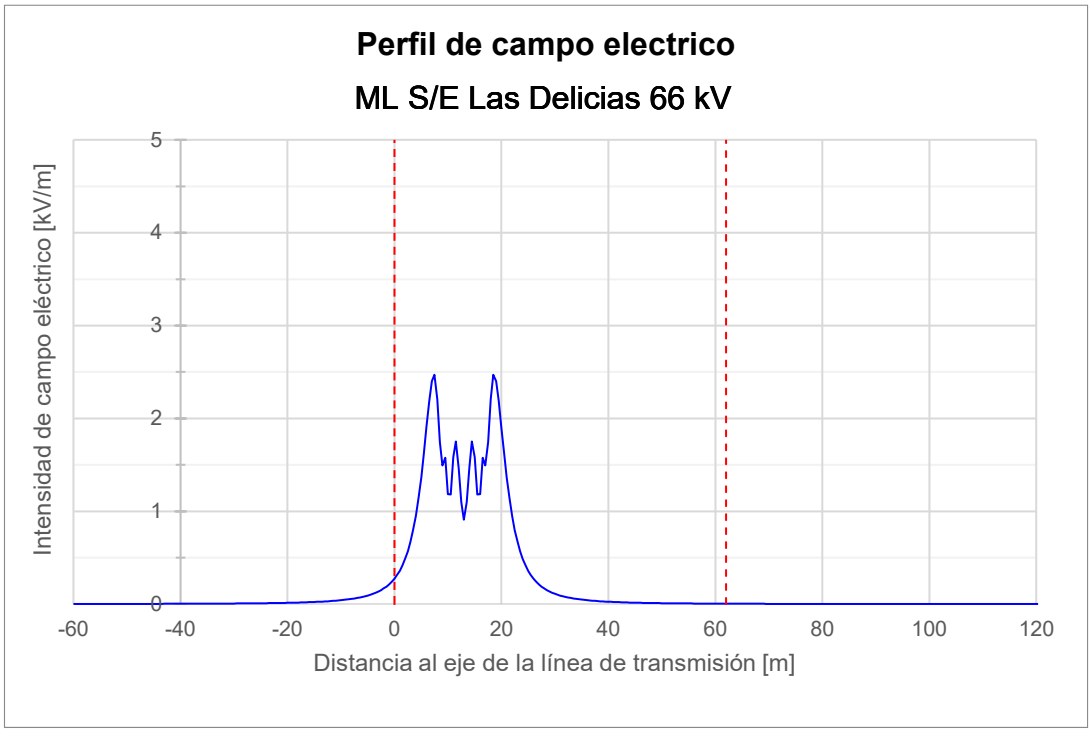
Donde:

- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

7.6.1 Cálculo del campo eléctrico

En la **Figura 7-17** se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por el marco de línea de la Nueva S/E Seccionadora Las Delicias 66 kV, expresado en kV/m, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (0 m a 62,0 m). En la **Tabla 7-19** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 7-17 Perfil de campo eléctrico — Marco de Línea Nueva S/E Seccionadora Las Delicias 66 kV



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-19. Resultados perfil de campo eléctrico — Marco de Línea Nueva S/E Seccionadora Las Delicias 66 kV

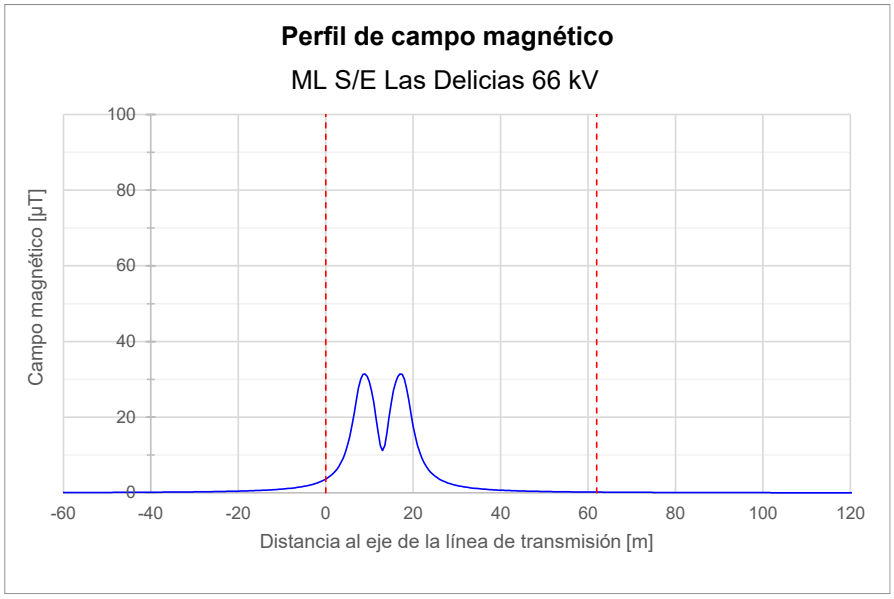
Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	62,00	1	0,00	5	0,1%
Limite franja seguridad izquierda	0,00	1	0,27	5	5,5%
Valor máximo en perfil	18,50	1	2,47	5	49,4%

Fuente: Elaboración propia.

7.6.2 Cálculo del campo magnético

En la **Figura 7-18** se presenta el perfil transversal del campo magnético generado por el marco de línea de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias 66 kV, expresada en µT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (0 m a 62,0 m). En la **Tabla 7-20** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en µT y como porcentaje del límite normativo de 100 µT.

Figura 7-18 Perfil de campo magnético — Marco de Línea Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias 66 kV



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-20. Resultados perfil de campo magnético — Marco de Línea Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias 66 kV

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	62,00	1	0,21	100	0,2%
Limite franja seguridad izquierda	0,00	1	3,65	100	3,6%
Valor máximo en perfil	9,00	1	31,45	100	31,5%

Fuente: Elaboración propia.

8. ANÁLISIS DE RECEPTORES

En la presente sección se exponen los resultados de la modelación de campos electromagnéticos para cada uno de los receptores identificados en el área de influencia del Proyecto. Para cada receptor se determinó la distancia a cada una de las instalaciones modeladas, y se calcularon los niveles de campo eléctrico (kV/m) y de campo magnético (µT) generados por cada fuente de manera independiente.

Los resultados se expresan en valor absoluto y como porcentaje del límite normativo aplicable, correspondiente a 5 kV/m para campo eléctrico y 100 µT para campo magnético, de acuerdo con la Recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE.

8.1 CARACTERIZACIÓN

Cercano al área del Proyecto, se han caracterizado 8 receptores dentro del área de estudio, cuya ubicación geográfica se presenta en la Figura 8-1 y cuyo detalle se presenta en la **Tabla 8-1**.

Las distancias entre receptores y fuentes, junto con los valores de campo eléctrico y campo magnético obtenidos, se presentan desde la **Tabla 8-2** hasta la **Tabla 8-6**

Tabla 8-1. Receptores identificados en el área de estudio

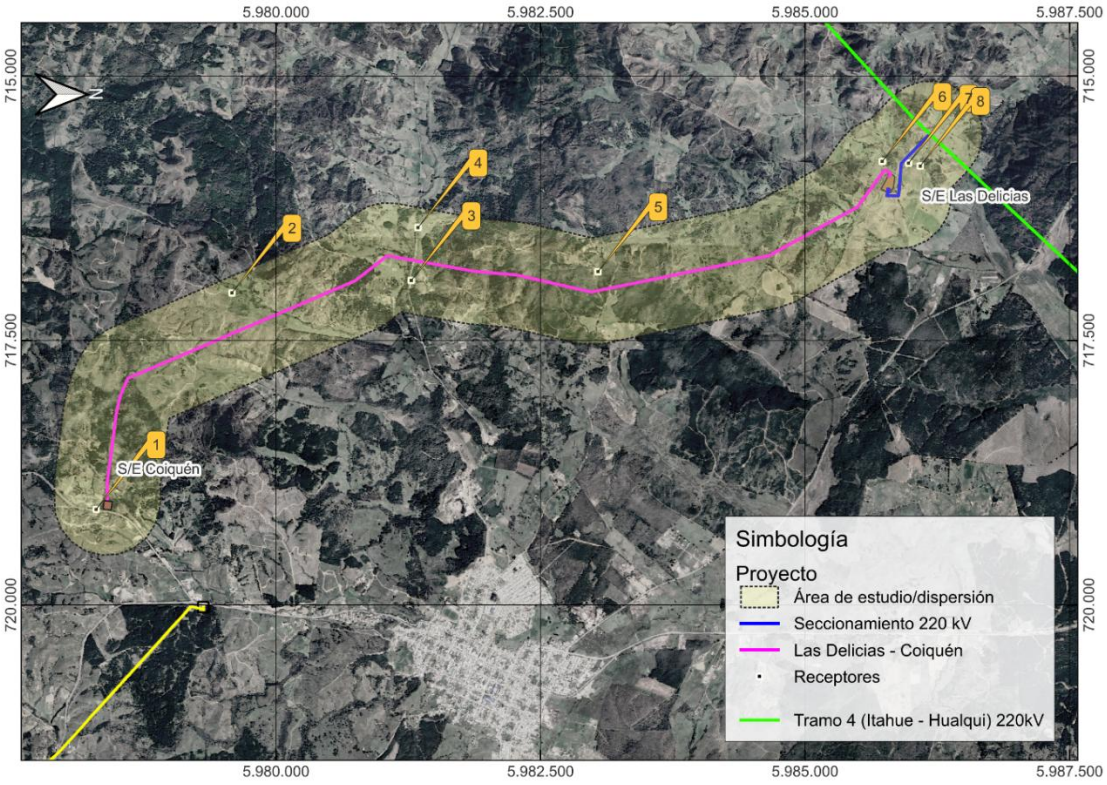
Receptor	Descripción	Coord. UTM Huso 18H WGS 84	
		Este [m]	Norte [m]
1	Vivienda de 1 piso, ubicada en Ruta 126 Km 51	719.097	5.978.299
2	Vivienda de 1 piso, ubicada en Chacabuco SN, sector Quebrada Pencahua	717.050	5.979.583

Tabla 8-1. Receptores identificados en el área de estudio

Receptor	Descripción	Coord. UTM Huso 18H WGS 84	
		Este [m]	Norte [m]
3	Vivienda de 1 piso, ubicada en Ruta N-410 Km 38	716.933	5.981.278
4	Vivienda de 1 piso, ubicada en Ruta N-410 Km 38	716.433	5.981.342
5	Vivienda de 1 piso, ubicada en Camino interior S/N Km 41,4	716.850	5.983.043
6	Vivienda de 1 piso, ubicada en sector Mengol, Parcela Maiten	715.808	5.985.729
7	Vivienda de 1 piso, ubicada en sector Mengol, Parcela La Estrella	715.824	5.985.978
8	Vivienda habitacional de 1 piso, ubicada en sector Mengol, Parcela S/N	715.851	5.986.089

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8-1 Ubicación de receptores de CEM en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-2. Distancias entre receptores y fuentes (metros)[2]

Receptor	LT 220 kV	LT66 kV (S66.4.)	LT 66b kV (A66.4/R664.)	ML COIQUEN 66 kV	ML DELICIAS 220 kV	ML DELICIAS 66 kV
R1	8.041	122	122	67	8.014	8.014
R2	6.258	354	354	2.274	6.214	6.214
R3	4.567	191	191	3.515	4.525	4.525
R4	4.442	313	313	3.881	4.392	4.392
R5	2.824	175	175	5.079	2.788	2.788
R6	181	83	83	7.954	131	131
R7	47	194	194	8.177	181	181
R8	146	288	288	8.268	261	261

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-3. Valor de campo eléctrico en kV/m

Receptor	LT 220 kV	LT66 kV (S66.4.)	LT 66b kV (A66.4/R664.)	ML COIQUEN 66 kV	ML DELICIAS 220 kV	ML DELICIAS 66 kV
R1	0,000	0,001	0,001	0,077	0,000	0,000
R2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R5	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
R6	0,005	0,002	0,002	0,000	0,020	0,000
R7	0,041	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
R8	0,007	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000

Fuente: Elaboración propia.

[2] En el caso de marcos de línea, se considera la distancia al perímetro de la subestación.

Tabla 8-4. Porcentaje de valor límite campo eléctrico (5 kV/m)

Receptor	LT 220 kV	LT66 kV (S66.4.)	LT 66b kV (A66.4/R664.)	ML COIQUEN 66 kV	ML DELICIAS 220 kV	ML DELICIAS 66 kV
R1	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%
R2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R6	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%
R7	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
R8	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-5. Valor de campo magnético en µT

Receptor	LT 220 kV	LT66 kV (S66.4.)	LT 66b kV (A66.4/R664.)	ML COIQUEN 66 kV	ML DELICIAS 220 kV	ML DELICIAS 66 kV
R1	0,000	0,003	0,001	1,536	0,000	0,000
R2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R3	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
R4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R5	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
R6	0,017	0,008	0,004	0,000	0,828	0,037
R7	0,662	0,001	0,000	0,000	0,269	0,019
R8	0,031	0,000	0,000	0,000	0,097	0,009

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-6. Porcentaje de valor límite campo magnético (100 µT)

Receptor	LT 220 kV	LT66 kV (S66.4.)	LT 66b kV (A66.4/R664.)	ML COIQUEN 66 kV	ML DELICIAS 220 kV	ML DELICIAS 66 kV
R1	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%
R2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 8-6. Porcentaje de valor límite campo magnético (100 µT)

Receptor	LT 220 kV	LT66 kV (S66.4.)	LT 66b kV (A66.4/R664.)	ML COIQUEN 66 kV	ML DELICIAS 220 kV	ML DELICIAS 66 kV
R3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%
R7	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%
R8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%

Fuente: Elaboración propia.

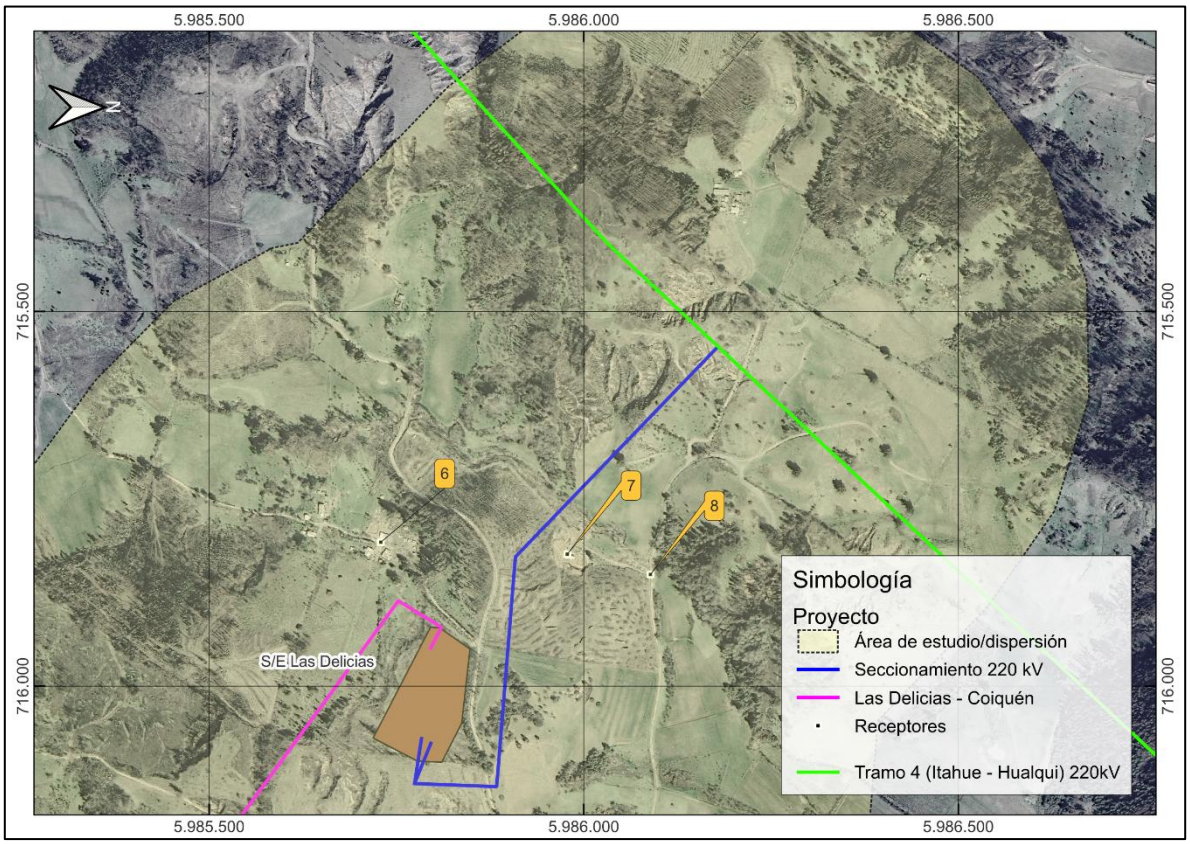
De acuerdo a lo establecido en la Guía para la Descripción del Área de Influencia en el SEIA (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017), el área de influencia (AI) del elemento "salud de la población" queda acotada a los receptores ubicados dentro del área de dispersión. No obstante lo anterior, el análisis detallado indica que dichos receptores no se encuentran expuestos a valores de campo eléctrico y magnético superiores a los establecidos por la normativa de referencia, registrando valores muy por debajo de dichos límites: el valor máximo de campo eléctrico corresponde a un 0,8% del límite (receptor R7, LT 220 kV), y el valor máximo de campo magnético corresponde a un 1,5% del límite normativo (receptor R1, ML Coiquén 66 kV), verificándose el cumplimiento de la normativa de referencia en la totalidad de los receptores identificados.

8.2 EFECTOS SINERGICOS

Se ha realizado además una revisión de los proyectos aprobados ambientalmente aledaños a la zona del proyecto que pudiesen tener eventuales efectos sinérgicos con el Proyecto en evaluación.

En particular, el proyecto denominado "Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue- S/E Hualqui", está cercano a algunos receptores identificados en el punto anterior, tal como se presenta en la **Figura 8-2**. En la **Tabla 8-7** se presentan las distancias de cada uno de los receptores al proyecto.

Figura 8-2 Ubicación de receptores cercanos al Proyecto Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue- S/E Hualqui



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-7. Receptores identificados en el área de estudio

Receptor	Descripción	Coord. UTM Huso 18H WGS 84		Distancia a proyecto Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 [m]
		Este [m]	Norte [m]	
6	Vivienda de 1 piso, ubicada en sector Mengol, Parcela Maiten	715.808	5.985.729	498
7	Vivienda de 1 piso, ubicada en sector Mengol, Parcela La Estrella	715.824	5.985.978	340
8	Vivienda habitacional de 1 piso, ubicada en sector Mengol, Parcela S/N	715.851	5.986.089	284

Fuente: Elaboración propia.

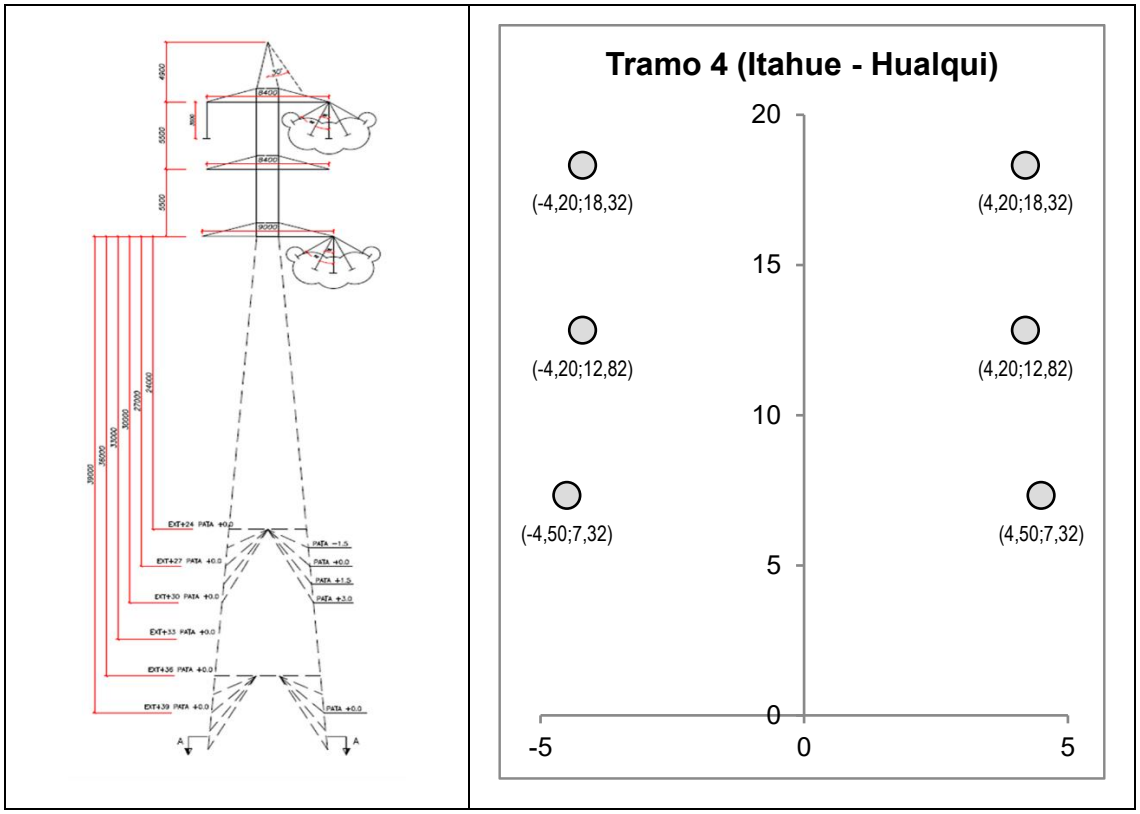
A fin de evaluar la contribución de campos electromagnéticos de este proyecto, respecto de los receptores identificados, se realizará el cálculo de los campos eléctricos y magnéticos de la estructura típica del Tramo 4 la línea de 220 kV del Proyecto "Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue- S/E Hualqui".

8.2.1 Tramo 4 / Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3

Se modela la línea de transmisión en su configuración de estructura de suspensión (22SL1 - 22SL2 - 22SP1), operando en 220 kV con una corriente máxima de diseño de 1.274 A por circuito, correspondiente a una potencia de ~ 485 MVA. Se considera conductor tipo ACAR 700, dos conductores por fase, en su condición de altura mínima reglamentaria (7,32 m para 220 kV) como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a una estructura reticulada de doble circuito, tal como se aprecia en la **Figura 8-3**.

Figura 8-3 Silueta de estructura modelada junto con las coordenadas asociadas a cada conductor



Fuente: EIA Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue- S/E Hualqui

En la **Tabla 8-8** se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de la instalación. Estos parámetros serán utilizados en las ecuaciones descritas en el punto 3 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

Tabla 8-8. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
Tramo 4 Itahue – Hualqui 220 kV	-4,5	7,32	a	ACAR 700	0,012	0,4	2	220	1274
	-4,2	12,82	b	ACAR 700	0,012	0,4	2	220	1274
	-4,2	18,32	c	ACAR 700	0,012	0,4	2	220	1274
	4,2	18,32	a	ACAR 700	0,012	0,4	2	220	1274
	4,2	12,82	b	ACAR 700	0,012	0,4	2	220	1274

Tabla 8-8. Datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos

Línea	X (m)	Y (m)	Fase	Conductor	r (m)	R (m)	N	V (kV)	I (A)
	4,5	7,32	c	ACAR 700	0,012	0,4	2	220	1274

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

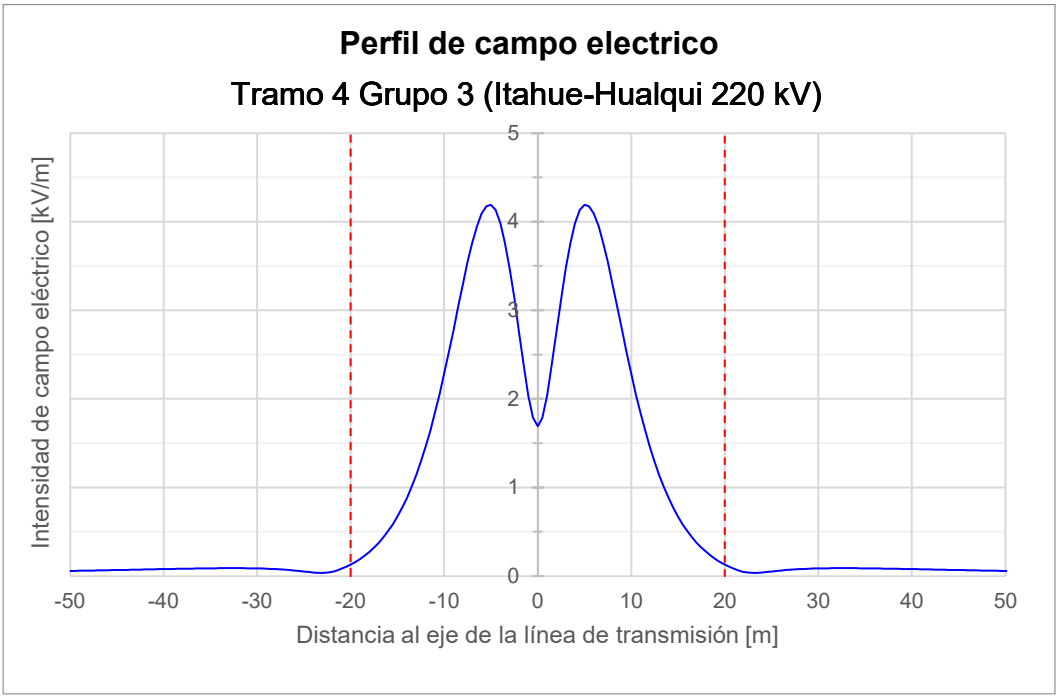
- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a,b,c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor por fase equivale a r (m)
- N: Número de conductores por fase
- V: Tensión nominal del conductor (kV)
- I: Corriente nominal del conductor (A)

8.2.2 Cálculo del campo eléctrico

En la

Figura 8-4 se presenta el perfil transversal del campo eléctrico generado por la estructura de suspensión del tramo 4 de la línea S/E Itahue- S/E Hualqui (22SL1 - 22SL2 - 22SP1), expresado en kV/m, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±20 m). En la **Tabla 8-9** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en kV/m y como porcentaje del límite normativo de 5 kV/m.

Figura 8-4 Perfil de campo eléctrico - Tramo 4 Línea S/E Itahue- S/E Hualqui



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-9. Resultados perfil de campo eléctrico — Tramo 4 Línea S/E Itahue- S/E Hualqui

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo Eléctrico [kV/m]	Limite [kV/m]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	20,00	1	0,13	5	2,6%
Limite franja seguridad izquierda	-20,00	1	0,13	5	2,6%
Valor máximo en perfil	5,00	1	4,19	5	83,8%

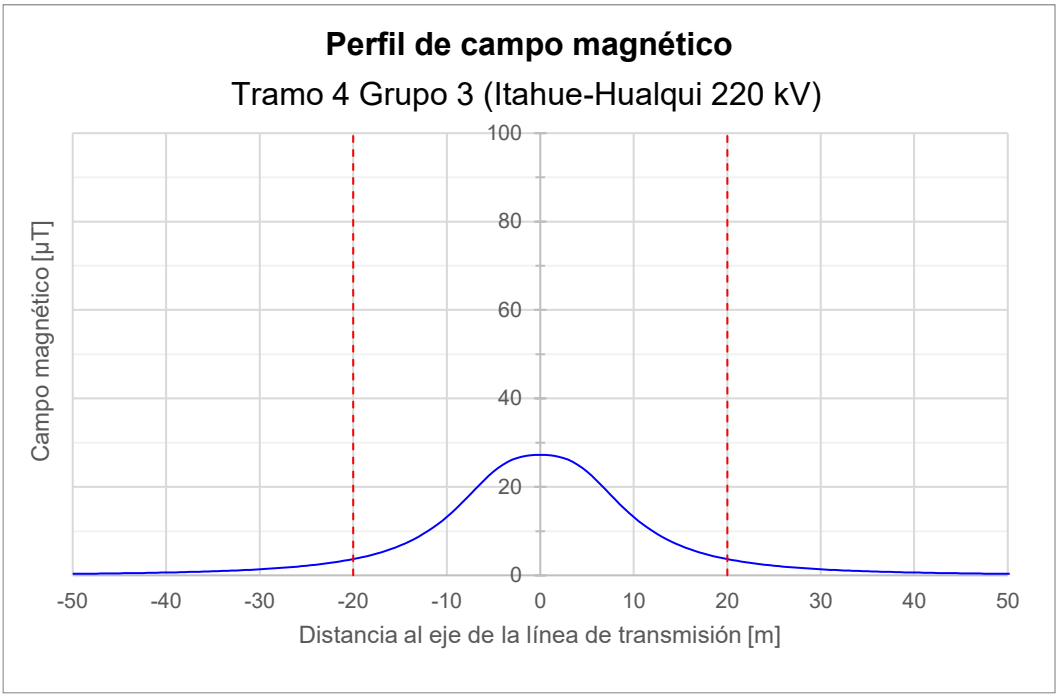
Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 Cálculo del campo magnético

En la **Figura 8-5** se presenta el perfil transversal del campo magnético generado por la estructura de suspensión del tramo 4 Línea S/E Itahue- S/E Hualqui (22SL1 - 22SL2 - 22SP1), expresada en μT, en función de la distancia horizontal al eje de la instalación. Se indican mediante líneas verticales rojas los límites de la franja de seguridad (±20 m). En la **Tabla 8-10** se resumen los valores obtenidos en los límites de la franja de seguridad

y el valor máximo registrado en el perfil, expresados en µT y como porcentaje del límite normativo de 100 µT.

Figura 8-5 Perfil de campo magnético — Tramo 4 Línea S/E Itahue- S/E Hualqui



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-10. Resultados perfil de campo magnético — Tramo 4 Línea S/E Itahue- S/E Hualqui

Punto de medida	x [m]	y[m]	Campo magnético [µT]	Limite [µT]	% Valor límite
Limite franja seguridad derecha	20,00	1	3,68	100	3,7%
Limite franja seguridad izquierda	-20,00	1	3,68	100	3,7%
Valor máximo en perfil	0,00	1	27,26	100	27,3%

Fuente: Elaboración propia.

8.2.4 Análisis

De acuerdo con los valores obtenidos, se verifica que la línea de transmisión de 220 kV en los límites de su franja de seguridad presenta valores de campo eléctrico de 0,13 kV

equivalentes a un 2,6% del límite admisible y valores de campo magnético de 3,68 [µT], equivalentes a un 3,7% del límite admisible.

En la **Tabla 8-11** se presentan los receptores cercanos al proyecto, junto con los valores de campos electromagnéticos obtenidos para cada uno de ellos, dependiendo de su distancia a la fuente.

Tabla 8-11. Valores de campos electromagnéticos en receptores identificados en el área de estudio

Receptor	Distancia a proyecto Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 [m]	Campo eléctrico [kV/m]	% limite (5 kV/m)	Campo magnético	% límite (100 µT)
6	498	0,0006	0,00%	0,0006	0,00%
7	340	0,0013	0,00%	0,0017	0,00%
8	284	0,0019	0,00%	0,0026	0,00%

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se concluye, aunque los receptores 6,7,8 se encuentran a menos de un kilómetro del Proyecto "Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue- S/E Hualqui", la contribución de campos eléctricos y magnéticos resulta nula y por tanto se descarta un efecto sinérgico con los campos electromagnéticos provocados por la operación del Proyecto.

9. CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado y los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- Las modelaciones se realizaron bajo condiciones de máxima exigencia, adoptando la altura mínima reglamentaria de conductores para zonas no transitables según el RPTD N°07 y la máxima corriente de diseño de cada instalación, configurando así el escenario más desfavorable en términos de emisión electromagnética. No obstante, lo anterior, los niveles de campo eléctrico y campo magnético obtenidos se mantienen dentro de los límites normativos aplicables, lo que permite concluir que bajo cualquier condición de operación normal del Proyecto se verificará el cumplimiento de la normativa de referencia.
- En todas las instalaciones evaluadas, los niveles de campo eléctrico y campo magnético en los límites exteriores de la franja de seguridad se encuentran por debajo de los límites normativos de referencia de 5 kV/m y 100 µT, respectivamente, establecidos por la Recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE y adoptados como criterio de evaluación en la presente DIA.
- El valor máximo de campo eléctrico en los límites exteriores de franja de seguridad corresponde a 0,64 kV/m, obtenido en el seccionamiento Las Delicias (22A.4C), equivalente a un 12,8% del límite de referencia de 5 kV/m. El valor máximo de campo magnético en los límites exteriores de franja corresponde a 4,07 µT, obtenido en el marco de línea S/E Las Delicias 220 kV, equivalente a un 4,1% del límite de referencia de 100 µT. Ambos valores se encuentran ampliamente por debajo de los límites normativos aplicables.
- Se hace presente que los valores máximos registrados al interior de la franja de seguridad no están sujetos a la restricción normativa. La normativa establece que los límites de 5 kV/m y 100 µT deben ser evaluados en el exterior de la franja, a 1 m sobre el nivel del suelo, conforme a lo dispuesto en el punto 4.7 del Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 y el punto 5.1.9 del RPTD N°10. En consecuencia, la superación de dichos valores al interior de la franja no constituye un incumplimiento normativo.
- Se identificaron 8 receptores de uso habitacional en el área de estudio del Proyecto. El valor máximo de campo eléctrico registrado en los receptores corresponde a 0,077 kV/m, obtenido en el receptor R1 por efecto del marco de línea de la S/E Coiquén 66 kV, equivalente a un 1,5% del límite de referencia de 5 kV/m. El valor máximo de campo magnético corresponde a 1,536 µT,

igualmente registrado en el receptor R1 por efecto del marco de línea de la S/E Coiquén 66 kV, equivalente a un 1,5% del límite de referencia de 100 µT.

- Respecto de la evaluación de efectos sinérgicos, se identificó el proyecto "Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue- S/E Hualqui" como instalación (con RCA aprobada) cercana a los receptores 6, 7 y 8. El efecto en dichos receptores, fueron equivalentes en todos los casos a un 0,00% de los límites de referencia (5 kV/m y 100 µT, respectivamente). En consecuencia, la contribución de este proyecto resulta nula, descartándose la existencia de efectos sinérgicos significativos entre ambas instalaciones sobre los receptores evaluados.
- Los valores obtenidos en la totalidad de los receptores identificados son varios órdenes de magnitud inferiores a los límites normativos aplicables, verificándose el cumplimiento de la normativa de referencia para todas las instalaciones del Proyecto en todos los receptores analizados.

10.BIBLIOGRAFÍA

- Consejo de la Unión Europea. (1999). Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la limitación de la exposición del público en general a los campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 199, 59–70.
- Coordinador Eléctrico Nacional. (s.f.). Plataforma de información técnica. Recuperado de https://infotecnica.coordinador.cl
- Electric Power Research Institute. (2005). EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200 kV and Above (3.ª ed.). EPRI.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2010). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics, 99(6), 818–836. https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86
- Ministerio de Energía de Chile. (2017). Decreto N°109: Reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica. Diario Oficial de la República de Chile.
- Organización Mundial de la Salud. (2007). Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency Fields. OMS. https://www.who.int/publications/i/item/9789241572637
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). Criterio de evaluación en el SEIA: Evaluación de impactos por radiación electromagnética en proyectos de transmisión eléctrica. SEA.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2026). Guía de áreas de influencia en el SEIA 2da Ed. SEA.
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2020). Pliego Técnico Normativo RPTD N°07: Franja y distancias de seguridad (Resolución Exenta N°33.277). SEC.
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2020). Pliego Técnico Normativo RPTD N°10: Centrales de producción y subestaciones (Resolución Exenta N°33.277). SEC.