# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
# PROYECTO

# “PARQUE HÍBRIDO EÓLICO, SOLAR Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA LAS QUINTAS (PHLQ)”

## CAPÍTULO 3.1.1.4. ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

2026

**Sustentable S.A.**
Asesoría y Gestión Ambiental
www.sustentable.cl

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN ..... 1
2. OBJETIVOS ..... 2
3. METODOLOGÍA ..... 3
3.1. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 3
3.2. Cálculo del Campo Magnético ..... 5
3.3. Campos Electroestáticos ..... 6
4. MODELACIÓN ..... 7
4.1. Sistema BESS ..... 8
4.1.1. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 8
4.1.2. Cálculo del Campo Magnético ..... 8
4.2. Línea Soterrada de 33 kV (1 circuito) ..... 8
4.2.1. Características de la instalación ..... 8
4.2.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 10
4.2.3. Cálculo del campo Magnético ..... 10
4.3. Línea Soterrada de 33 kV (2 circuitos) ..... 11
4.3.1. Características de la Instalación ..... 11
4.3.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 12
4.3.3. Cálculo del Campo Magnético ..... 12
4.4. Línea Soterrada de 33 kV (3 circuitos) ..... 14
4.4.1. Características de la Instalación ..... 14
4.4.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 15
4.4.3. Cálculo del Campo Magnético ..... 15
4.5. Línea Soterrada de 33 kV (4 circuitos) ..... 17
4.5.1. Características de la Instalación ..... 17
4.5.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 18
4.5.3. Cálculo del Campo Magnético ..... 18
4.6. Línea Soterrada de 33 kV (5 circuitos) ..... 20
4.6.1. Características de la Instalación ..... 20
4.6.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 21
4.6.3. Cálculo del Campo Magnético ..... 21
4.7. Línea de 220 kV ..... 23
4.7.1. Características de la Instalación ..... 23
4.7.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 24

4.7.3. Cálculo del Campo Magnético ..... 25
4.8. Acometida de la Nueva S/E Loica ..... 27
4.8.1. Características de la Instalación ..... 27
4.8.2. Cálculo del Campo Eléctrico ..... 29
4.8.3. Cálculo del Campo Magnético ..... 29
5. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ..... 31
5.1. Normativa Aplicable ..... 31
5.2. Verificación de los Valores Obtenidos ..... 33
6. RECEPTORES ..... 35
6.1. Caracterización ..... 35
7. CONCLUSIONES ..... 39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de entrada ..... 9
Tabla 2. Resultados perfil de campo magnético ..... 11
Tabla 3. Datos de entrada ..... 12
Tabla 4. Resultados perfil de campo magnético ..... 13
Tabla 5. Datos de entrada ..... 14
Tabla 6. Resultados perfil de campo magnético ..... 16
Tabla 7. Datos de entrada ..... 17
Tabla 8. Resultados perfil de campo magnético ..... 19
Tabla 9. Datos de entrada ..... 20
Tabla 10. Resultados perfil de campo magnético ..... 22
Tabla 11. Datos de entrada ..... 24
Tabla 12. Resultados perfil de campo magnético ..... 25
Tabla 13. Resultados perfil de campo magnético ..... 26
Tabla 14. Datos de entrada ..... 28
Tabla 15. Resultados perfil de campo magnético ..... 29
Tabla 16. Resultados perfil de campo magnético ..... 30
Tabla 17. Límites de exposición humana a campos electromagnéticos de 50 [Hz] ..... 32
Tabla 18. Valores obtenidos para campo eléctrico ..... 33
Tabla 19. Valores obtenidos para campo magnético ..... 33
Tabla 20. Listado de receptores dentro del área de estudio ..... 35
Tabla 21. Distancia entre receptores y elementos del Proyecto ..... 36
Tabla 22. Verificación de receptores y campos generados por canalización MT del Proyecto ..... 37

Tabla 23. Verificación de receptores y campos generados por línea 220 kV del Proyecto ..... 37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Proyecto ..... 2
Figura 2. Corte de la instalación modelada ..... 9
Figura 3. Perfil de campo magnético Zanja Tipo A ..... 10
Figura 4. Corte de la instalación modelada ..... 11
Figura 5. Perfil de campo magnético Zanja Tipo B ..... 13
Figura 6. Corte de la instalación modelada ..... 14
Figura 7. Perfil de campo magnético Zanja Tipo C ..... 16
Figura 8. Corte de la instalación modelada ..... 17
Figura 9. Perfil de campo magnético Zanja Tipo D ..... 19
Figura 10. Corte de la instalación modelada ..... 20
Figura 11. Perfil de campo magnético Zanja Tipo E ..... 22
Figura 12. Corte de la instalación modelada ..... 23
Figura 13. Perfil de campo eléctrico línea de 220 kV ..... 25
Figura 14. Perfil de campo magnético línea de 220 kV ..... 26
Figura 15. Ubicación de la conexión de la línea de 220 kV en la nueva S/E Loica ..... 27
Figura 16. Perfil de campo eléctrico Acometida S/E Loica ..... 29
Figura 17. Perfil de campo magnético acometida S/E Loica ..... 30
Figura 18. Ubicación de los receptores ..... 35

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con lo establecido en la Ley N°19.300 y en el artículo 18, letra e.1), del D.S. N°40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, el presente informe entrega los resultados de la modelación del componente Campos Electromagnéticos del Proyecto "Parque Híbrido Eólico, Solar y Almacenamiento de Energía Las Quintas (PHLQ)" (en adelante el Proyecto, PHLQ, Parque Híbrido indistintamente), emplazado entre las comunas de San Pedro y Litueche, en las regiones Metropolitana y de O'Higgins, respectivamente. Para estos efectos, se consideró la estimación de los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia generados por las principales obras eléctricas del Proyecto, con el objeto de determinar sus magnitudes y contrastarlas con los límites establecidos en la regulación sectorial vigente y en la normativa de referencia aplicable.

El Proyecto corresponde a una iniciativa de generación de energía renovable que combina tecnología eólica y solar, con una potencia nominal aproximada de 190,25 MW. En particular, contempla la construcción y operación de un parque eólico compuesto por 16 aerogeneradores de hasta 8 MW cada uno, con una potencia total de 128 MW, y de un parque fotovoltaico conformado por 107.772 paneles solares, con una potencia instalada de 77,6 MWp y una potencia nominal de 62,25 MW. Adicionalmente, considera la implementación de un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías, BESS, con una potencia de 100 MW y una capacidad de almacenamiento de 500 MWh.

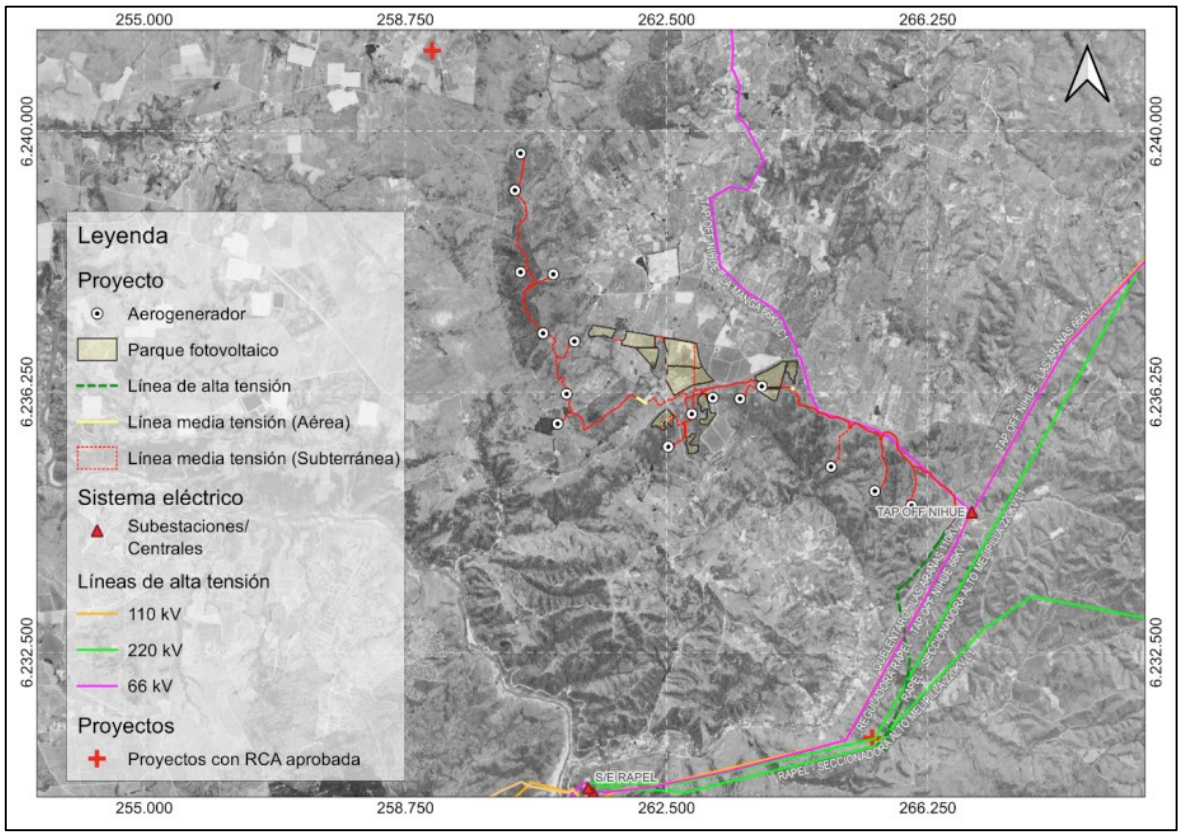
La evacuación de la energía generada se realizará mediante redes de media tensión en 33 kV, tanto subterráneas como en tramos aéreos puntuales, hacia una subestación elevadora ubicada al interior del parque. En dicha subestación, la tensión será elevada a 220 kV para su transmisión a través de una Línea de Alta Tensión de aproximadamente 3,78 km de longitud, hasta la Subestación Seccionadora Loica, donde el Proyecto se conectará al Sistema Eléctrico Nacional.

En términos generales el Proyecto estará constituido por las siguientes obras relevantes desde el punto de vista de emisión de campos electromagnéticos:

- Parque eólico y sus redes colectoras asociadas.
- Parque fotovoltaico y sus sistemas de conversión y transformación.
- Redes eléctricas de media tensión en 33 kV.
- Subestación elevadora 33/220 kV.
- Sistema de almacenamiento de energía mediante baterías (BESS).
- Línea de Alta Tensión de 220 kV y aproximadamente 3,78 km de longitud.
- Obras de conexión en la Subestación Seccionadora Loica.

En este contexto, la modelación del componente campos electromagnéticos permite determinar los niveles de campo eléctrico y magnético de frecuencia industrial asociados a la operación del Proyecto a los que se verá expuesto entorno y su eventual exposición sobre la población, a fin de verificar su cumplimiento respecto de los niveles de referencia aplicables.

**Figura 1. Ubicación del Proyecto**




Fuente: Elaboración propia.

## 2. OBJETIVOS

- Determinar los niveles de campo eléctrico y campo magnético de frecuencia industrial provocados por el Proyecto "Parque Híbrido Eólico, Solar y Almacenamiento de Energía Las Quintas (PHLQ)", mediante modelaciones computacionales.
- Verificar la conformidad de los niveles medidos respecto de la normativa sectorial vigente y de las normas de referencia utilizadas para la evaluación del riesgo para la salud de la población en el SEIA.

# 3. METODOLOGÍA

## 3.1. 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 ($\varepsilon_0$ = 8,854·10⁻¹² F/m).
- No se consideran las estructuras metálicas ni los cables de guardia.

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.

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

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

Donde:

- Pkk : Es el coeficiente de potencial propio del conductor k.Pkj es 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:

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

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

### 3.2. 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 $\delta$ 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 $\phi_k$. 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.

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

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

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

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

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.

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

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

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

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.

### 3.3. Campos Electroestáticos

Respecto de los sistemas BESS, cabe destacar que los campos que provocan (estáticos), no son abordados en la normativa ambiental chilena, por lo que su evaluación se realiza conforme a los límites indicados estándares internacionales como ICNIRP (2009).

## 4. MODELACIÓN

A continuación, se presenta el resultado de las simulaciones de los campos electromagnéticos ocasionados por las instalaciones proyectadas y su eventual interacción con las instalaciones existentes.

Además, se verificarán los resultados con los límites indicados por la normativa de referencia (Directive 1999/519/CE), de acuerdo con lo indicado en la sección 5 del presente documento.

En particular se consideran las siguientes instalaciones:

- Sistema BESS
- Línea soterrada de 33 kV
    - Zanja tipo A (1 circuito)
    - Zanja tipo B (2 circuitos)
    - Zanja tipo C (3 circuitos)
    - Zanja tipo D (4 circuitos)
    - Zanja tipo E (5 circuitos)
- Línea de 220 kV
    - Estructura Suspension

Además, se consideran la interacción con las siguientes instalaciones existenes o con RCA Aprobada:

- Tap Off Nihue - La Manga 66 kV C1
    - Paralelismo con línea de 33 kV soterrada (Proyecto)
- Quelentaro - Las Arañas 110 kV y Reguladora Rapel - Tap Off Nihue 66 kV
    - Cruce con línea de 220 kV (Proyecto)
- Rapel - Seccionadora Alto Melipilla 220 kV C1 C2
    - Cruce con línea de 220 kV (Proyecto)
- Rapel - Seccionadora Alto Melipilla 220 kV C3
    - Cruce con línea de 220 kV (Proyecto)
    - Paralelismo con línea de 220 kV (Proyecto)
- S/E Loica (RCA Aprobada)
    - Marco de línea 1 (conexión del Proyecto al Sistema Eléctrico Nacional).
    - Rapel - Seccionadora Alto Melipilla 220 kV C3
    - Rapel - Seccionadora Alto Melipilla 220 kV C1 C2
    - Línea proyectada Loica – Portezuelo.

A efectos de realizar la simulación se han considerado los siguientes datos de entrada, para cada instalación:

- X (m): corresponde a la coordenada X en un corte transversal de la instalación modelada, expresada en metros.
- Y (m): corresponde a la coordenada Y en un corte transversal de la instalación modelada, expresada en metros. Y > 0 para una instalación aérea e Y < 0 para una instalación subterránea. Se ha considerado la distancia eléctrica mínima al suelo según los pliegos técnicos normativos o bien, el indicado en la memoria de cálculo de parámetros eléctricos cuando está disponible.

- Fase: corresponde a la fase a, b, o c del circuito eléctrico trifásico
- Conductor: Corresponde al tipo del conductor de fase
- r: Corresponde al radio expresado en metros para el conductor de fase
- R: Corresponde al radio equivalente en caso de llevar más de un conductor en fase en configuración blunde, para un solo conductor equivale al radio de este.
- N: número de conductores de fase en configuración blunde
- V: Tensión de servicio de la instalación, expresada en kV.
- I: Corriente de diseño, expresada en ampere.

## 4.1. Sistema BESS

### 4.1.1. Cálculo del Campo Eléctrico

Los sistemas BESS son instalados en contenedores metálicos. La cabina metálica al estar aterrizada encierra el campo eléctrico producido por sus elementos interiores.

Por lo tanto, no será necesaria su simulación, pues se considera una fuente nula de campo eléctrico visto desde el exterior.

### 4.1.2. Cálculo del Campo Magnético

Respecto de las emisiones del sistema BESS, al operar en corriente continua, las baterías generan únicamente campos magnetostáticos y electrostáticos, los cuales no son referenciados en la normativa sectorial nacional ni ambiental.

Conforme a los límites internacionales establecidos por ICNIRP (2009), se fija un umbral de 400 [µT] para exposición del público general a campos magnetostáticos. En instalaciones similares, los valores medidos no superan los 0,3 [µT], lo que representa apenas un 0,075 % del límite establecido, y se encuentra muy por debajo del campo magnetostático natural de la Tierra, que en Chile es del orden de 35–40 [µT].

## 4.2. Línea Soterrada de 33 kV (1 circuito)

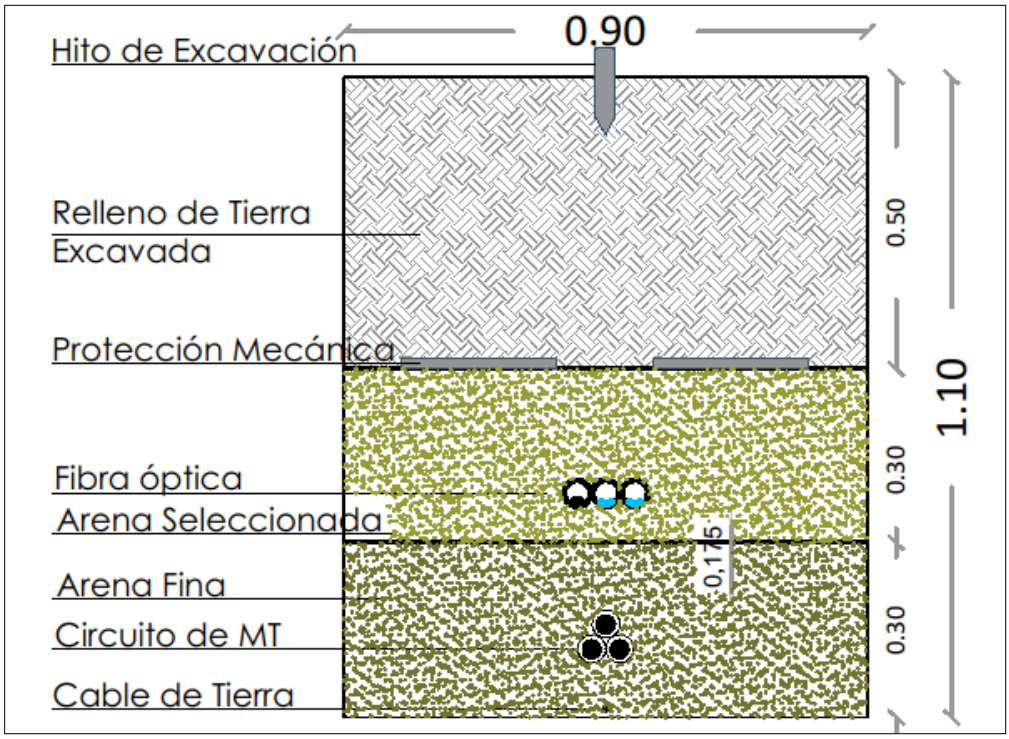
### 4.2.1. Características de la instalación

Se modelará la instalación de para las líneas de 33 kV, considerando la corriente máxima de diseño (610 A), para el conductor de mayor sección disponible (XT. 630 $mm^2$), como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a un circuito simple de conductores monopolares dispuestos en configuración trefoil, tal como se aprecia en la Figura 2.

En este caso, corresponde a una la línea soterrada de 33 kV con una configuración de cables soterrado de circuito simple en trefoil, tal como se presenta en la Figura 2.

**Figura 2. Corte de la instalación modelada**




Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 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 magnético resultante.

**Tabla 1. Datos de entrada**

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | -0,10 | -0,97 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 610 |
| | -0,12 | -1,01 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 610 |
| | -0,08 | -1,01 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 610 |

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)

### 4.2.2. Cálculo del Campo Eléctrico

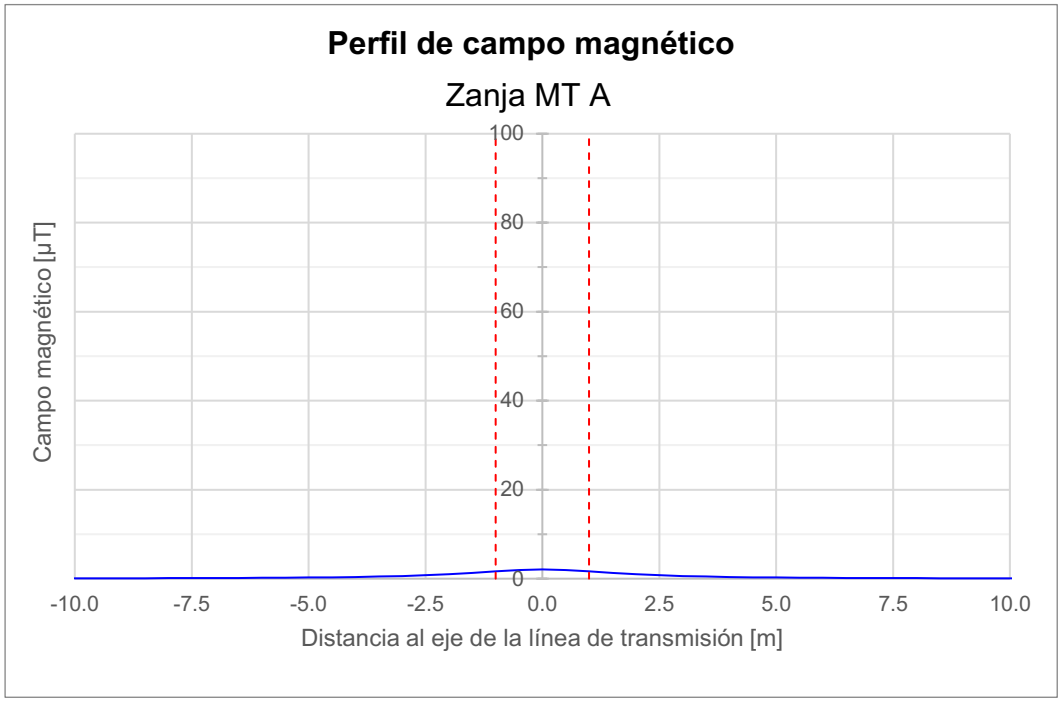
La cabina metálica al estar aterrizada encierra el campo eléctrico producido por sus elementos interiores. Por lo tanto, no será necesaria su simulación, pues se considera una fuente nula de campo eléctrico visto desde el exterior.

### 4.2.3. Cálculo del Campo Magnético

De acuerdo en lo indicado en el plano de canalización del proyecto, la profundidad a la que se enterrarán los cables correspondientes a 1 [m], tomando como referencia el centroide del conjunto de conductores.

En este caso la zanja es de casi 1 [m] de ancho en total, por lo tanto, la franja de seguridad mínima será de 2 [m] en total y se representa con una línea roja, en la siguiente figura.

**Figura 3. Perfil de campo magnético Zanja Tipo A**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [uT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 1,00 | 1 | 1,65 | 100 | 1,6% |
| Limite franja seguridad izquierda | -1,00 | 1 | 1,65 | 100 | 1,6% |
| Valor máximo en perfil | 0,00 | 1 | 2,08 | 100 | 2,1% |

Fuente: Elaboración propia.

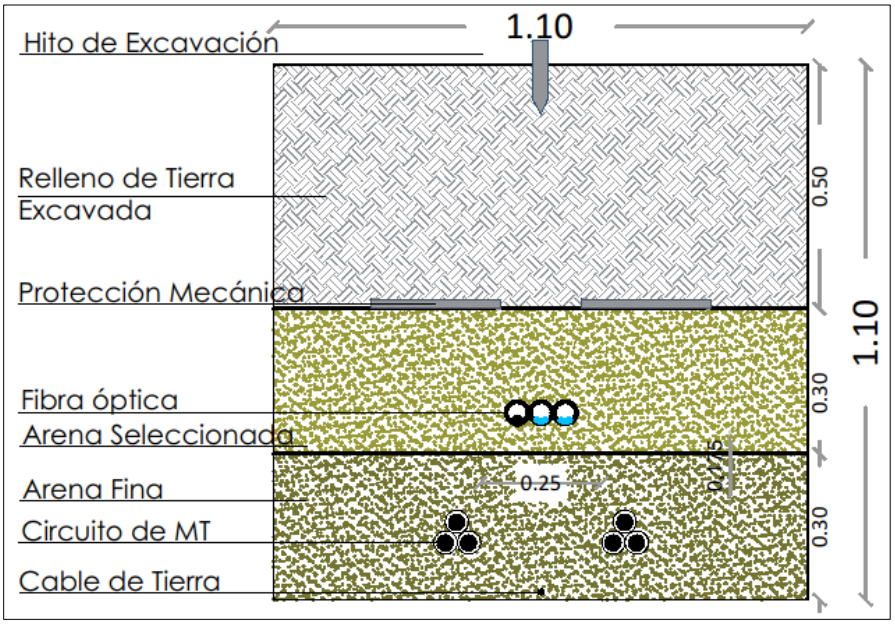
## 4.3. Línea Soterrada de 33 kV (2 circuitos)

### 4.3.1. Características de la Instalación

Se modelará la instalación de para las líneas de 33 kV, considerando la corriente máxima de diseño (525 A), para el conductor de mayor sección disponible (XT. 630 mm$^2$), como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a un doble circuito de conductores monopolares dispuestos en configuración trefoil, tal como se aprecia en la Figura 4.

**Figura 4. Corte de la instalación modelada**




Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 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 magnético resultante.

**Tabla 3. Datos de entrada**

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | -0,125 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 525 |
| | -0,152 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 525 |
| | -0,099 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 525 |
| C2 | 0,125 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 525 |
| | 0,0985 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 525 |
| | 0,1515 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 525 |

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)

### 4.3.2. Cálculo del Campo Eléctrico

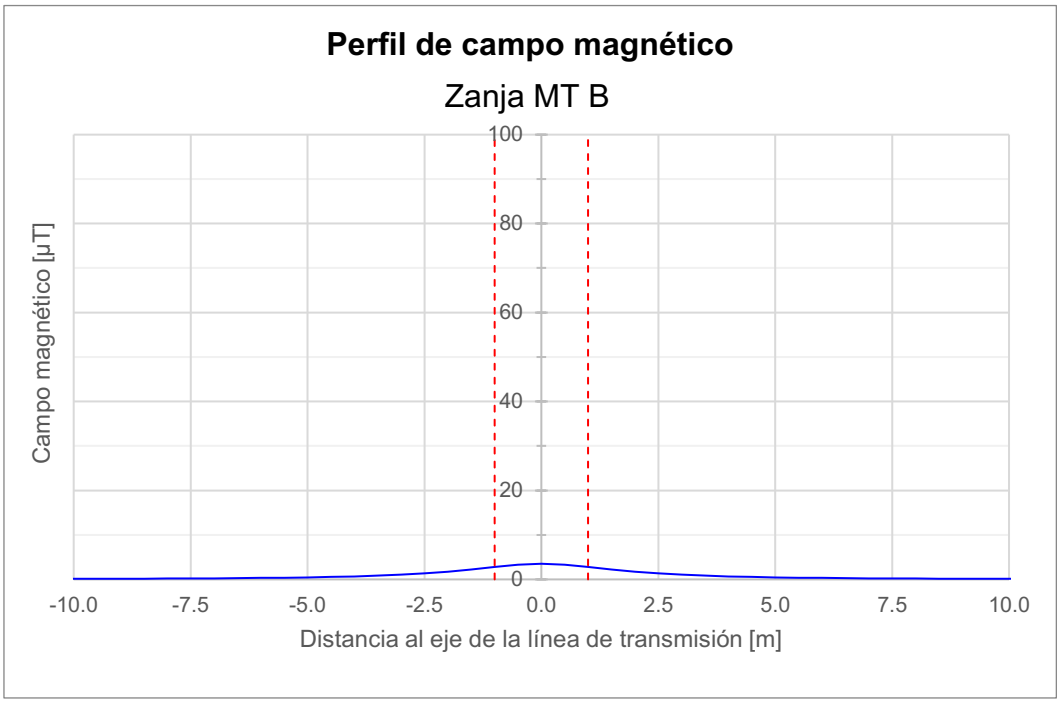
La cabina metálica al estar aterrizada encierra el campo eléctrico producido por sus elementos interiores. Por lo tanto, no será necesaria su simulación, pues se considera una fuente nula de campo eléctrico visto desde el exterior.

### 4.3.3. Cálculo del Campo Magnético

De acuerdo en lo indicado en el plano de canalización del proyecto, la profundidad a la que se enterrarán los cables correspondientes a 1 [m], tomando como referencia el centroide del conjunto de conductores.

En este caso la zanja es de levemente superior a 1 [m] de ancho en total, por lo tanto la franja de seguridad mínima será de 2 [m] y se representa con una línea roja en el gráfico siguiente.

**Figura 5. Perfil de campo magnético Zanja Tipo B**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [uT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 1,00 | 1 | 2,82 | 100 | 2,8% |
| Limite franja seguridad izquierda | -1,00 | 1 | 2,82 | 100 | 2,8% |
| Valor máximo en perfil | 0,00 | 1 | 3,54 | 100 | 3,5% |

Fuente: Elaboración propia.

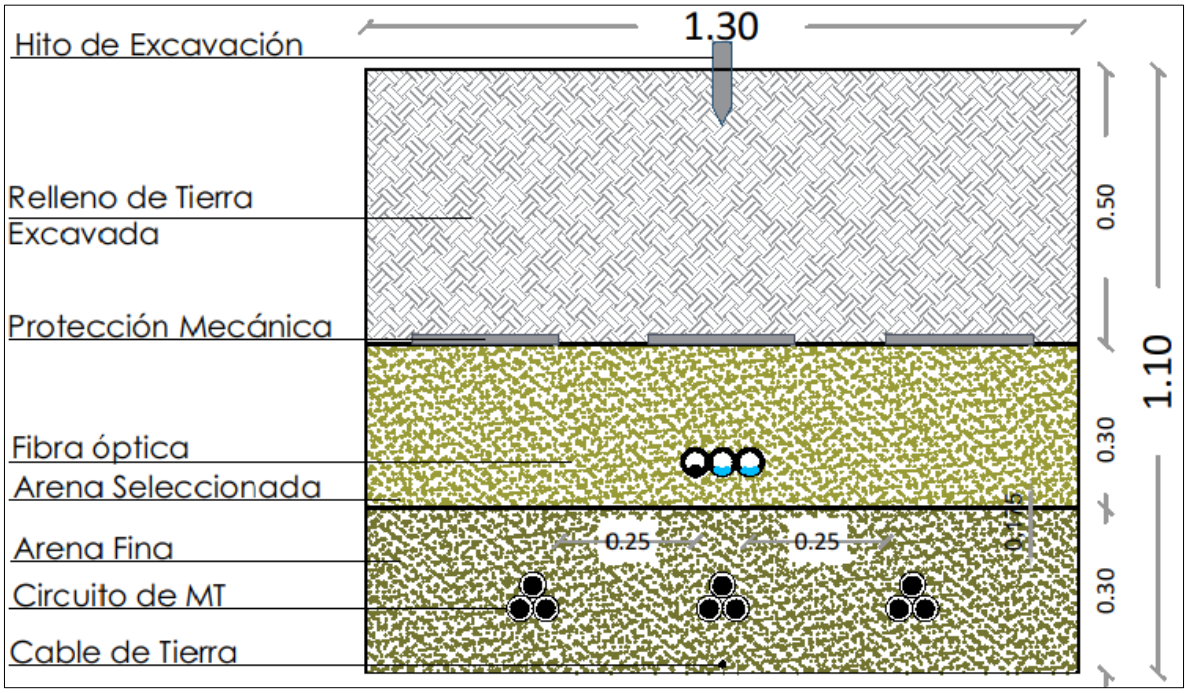
## 4.4. Línea Soterrada de 33 kV (3 circuitos)

### 4.4.1. Características de la Instalación

Se modelará la instalación de para las líneas de 33 kV, considerando la corriente máxima de diseño (464 A), para el conductor de mayor sección disponible (XT. 630 mm$^2$), como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a un triple circuito de conductores monopolares dispuestos en configuración trefoil, tal como se aprecia en la Figura 6.

**Figura 6. Corte de la instalación modelada**




Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 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 magnético resultante.

**Tabla 5. Datos de entrada**

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | -0,25 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| | -0,277 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| | -0,224 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C2 | 0 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| | -0,027 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| | 0,0265 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| C3 | 0,25 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| | 0,2235 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |
| | 0,2765 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 464 |

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)

### 4.4.2. Cálculo del Campo Eléctrico

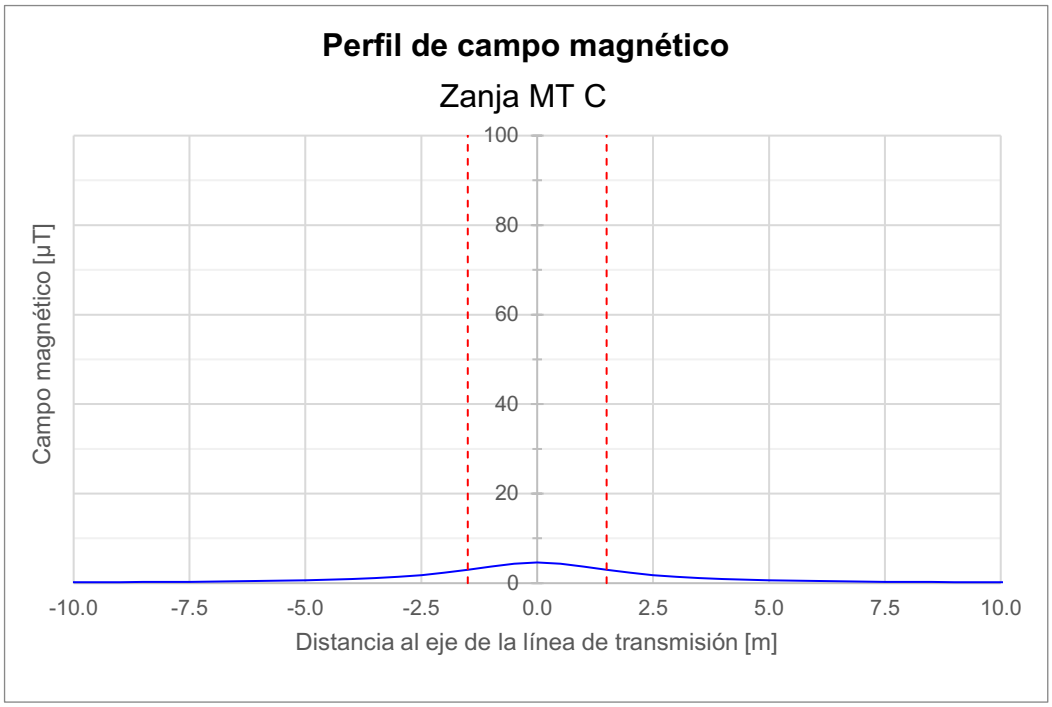
La cabina metálica al estar aterrizada encierra el campo eléctrico producido por sus elementos interiores. Por lo tanto, no será necesaria su simulación, pues se considera una fuente nula de campo eléctrico visto desde el exterior.

### 4.4.3. Cálculo del Campo Magnético

De acuerdo en lo indicado en el plano de canalización del proyecto, la profundidad a la que se enterrarán los cables correspondientes a 1 [m], tomando como referencia el centroide del conjunto de conductores.

En este caso la zanja es casi de 1,5 [m] de ancho en total, por lo tanto, la franja de seguridad mínima será de 3 [m] y se representa con una línea roja en la siguiente figura.

**Figura 7. Perfil de campo magnético Zanja Tipo C**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [uT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 1,50 | 1 | 2,97 | 100 | 3,0% |
| Limite franja seguridad izquierda | -1,50 | 1 | 2,97 | 100 | 3,0% |
| Valor máximo en perfil | 0,00 | 1 | 4,60 | 100 | 4,6% |

Fuente: Elaboración propia.

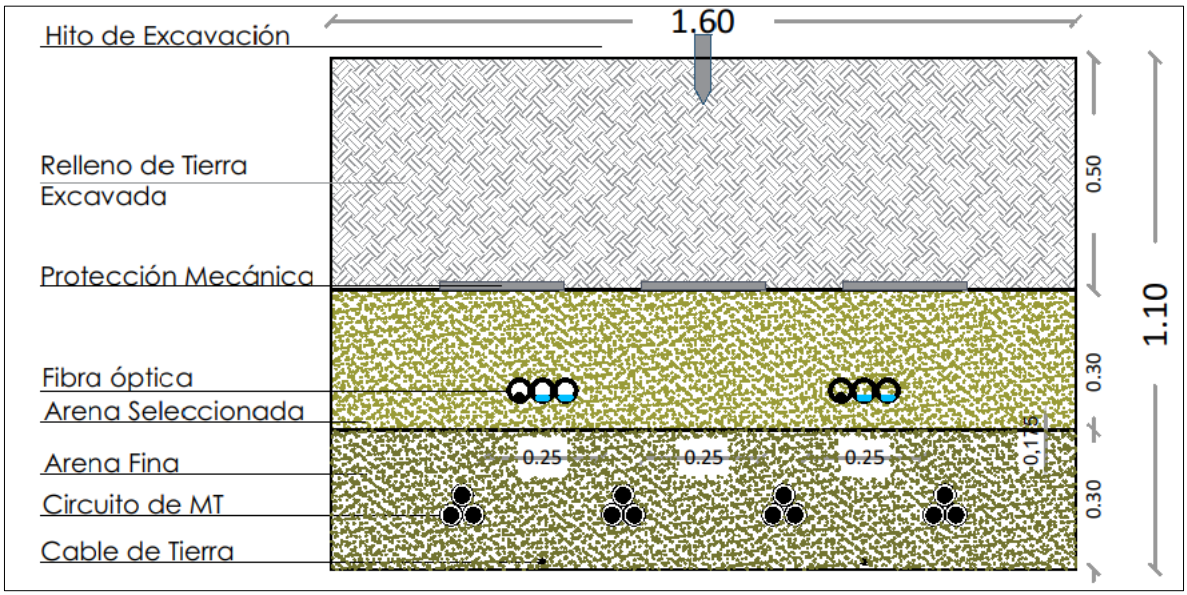
## 4.5. Línea Soterrada de 33 kV (4 circuitos)

### 4.5.1. Características de la Instalación

Se modelará la instalación de para las líneas de 33 kV, considerando la corriente máxima de diseño (439 A), para el conductor de mayor sección disponible (XT. 630 mm$^2$), como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a 4 conjuntos de conductores monopolares dispuestos en configuración trefoil, tal como se aprecia en la Figura 8.

**Figura 8. Corte de la instalación modelada**




Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 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 magnético resultante.

**Tabla 7. Datos de entrada**

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | -0,375 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | -0,402 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | -0,349 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| C2 | -0,125 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | -0,152 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | -0,099 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| C3 | 0,125 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | 0,0985 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | 0,1515 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| C4 | 0,375 | -0,919 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | 0,3485 | -0,965 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |
| | 0,4015 | -0,965 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 439 |

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)

### 4.5.2. Cálculo del Campo Eléctrico

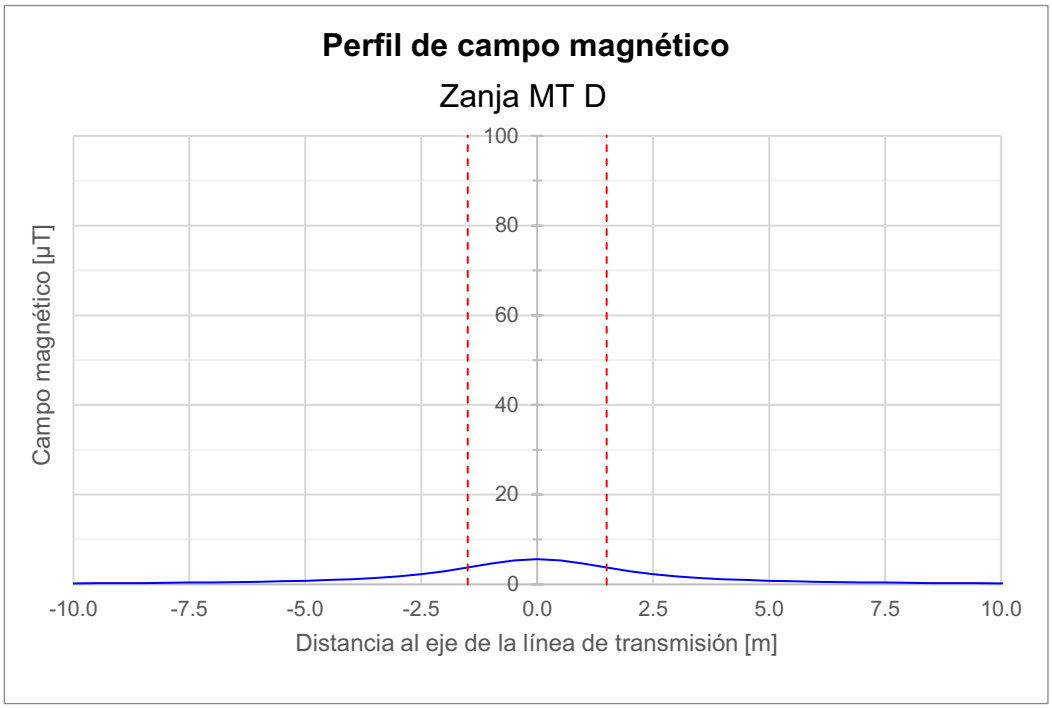
La cabina metálica al estar aterrizada encierra el campo eléctrico producido por sus elementos interiores. Por lo tanto, no será necesaria su simulación, pues se considera una fuente nula de campo eléctrico visto desde el exterior.

### 4.5.3. Cálculo del Campo Magnético

De acuerdo en lo indicado en el plano de canalización del proyecto, la profundidad a la que se enterrarán los cables correspondientes a 1 [m], tomando como referencia el centroide del conjunto de conductores.

En este caso la zanja es de 1,6 [m] de ancho en total, por lo tanto, la franja de seguridad mínima será de 3 [m] y se representa con una línea roja en el gráfico siguiente.

**Figura 9. Perfil de campo magnético Zanja Tipo D**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [uT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 1,50 | 1 | 3,73 | 100 | 3,7% |
| Limite franja seguridad izquierda | -1,50 | 1 | 3,73 | 100 | 3,7% |
| Valor máximo en perfil | 0,00 | 1 | 5,65 | 100 | 5,6% |

Fuente: Elaboración propia.

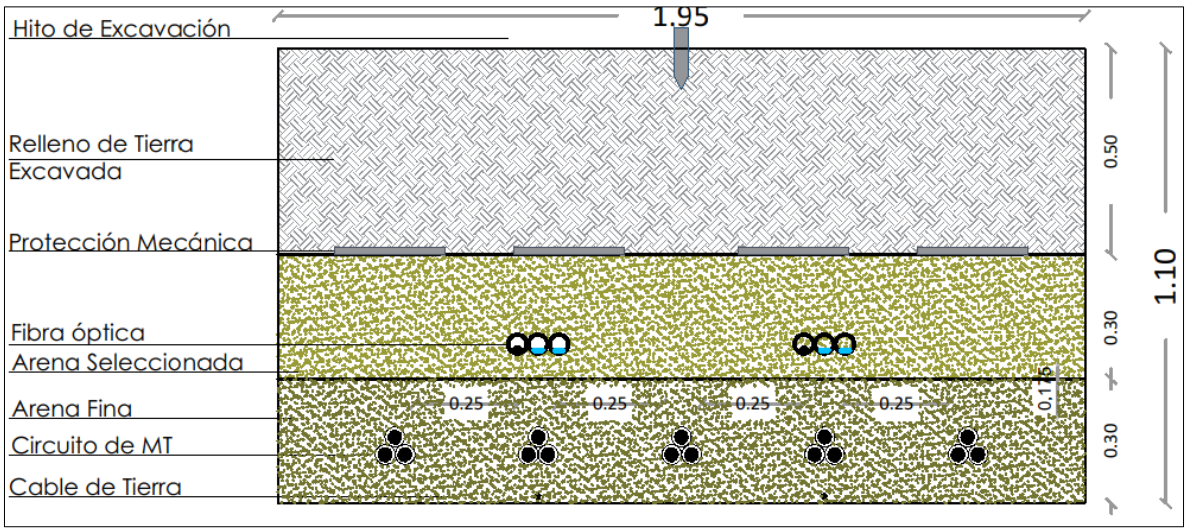
## 4.6. Línea Soterrada de 33 kV (5 circuitos)

### 4.6.1. Características de la Instalación

Se modelará la instalación de para las líneas de 33 kV, considerando la corriente máxima de diseño (415 A), para el conductor de mayor sección disponible (XT. 630 mm$^2$), como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a 5 conjuntos de conductores monopolares dispuestos en configuración trefoil, tal como se aprecia en la Figura 10.

**Figura 10. Corte de la instalación modelada**




Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 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 3.2 del presente documento, con el fin de determinar el campo magnético resultante.

**Tabla 9. Datos de entrada**

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | -0,5 | -0,9194 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | -0,527 | -0,9653 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | -0,474 | -0,9653 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| C2 | -0,25 | -0,9194 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | -0,277 | -0,9653 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |

| Circuito | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | -0,224 | -0,9653 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| C3 | 0 | -0,9194 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | -0,027 | -0,9653 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | 0,0265 | -0,9653 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| C4 | 0,25 | -0,9194 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | 0,2235 | -0,9653 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | 0,2765 | -0,9653 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| C5 | 0,5 | -0,9194 | a | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | 0,4735 | -0,9653 | b | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |
| | 0,5265 | -0,9653 | c | XT 630 mm2 | 0,015 | 0,015 | 1 | 33 | 415 |

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)

### 4.6.2. Cálculo del Campo Eléctrico

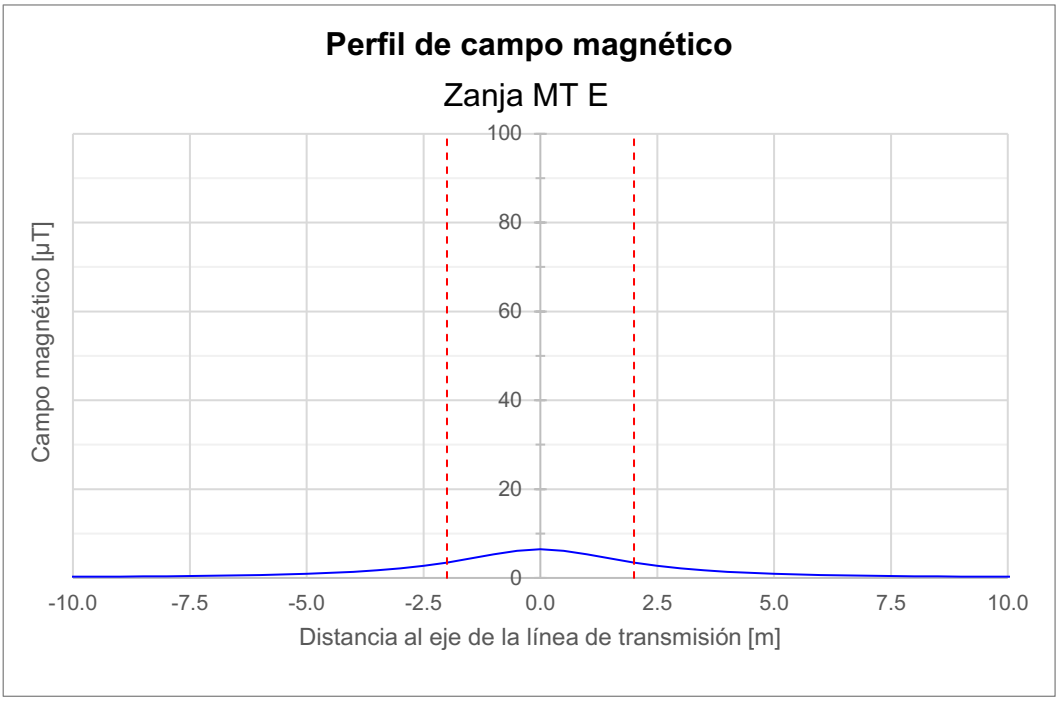
La cabina metálica al estar aterrizada encierra el campo eléctrico producido por sus elementos interiores. Por lo tanto, no será necesaria su simulación, pues se considera una fuente nula de campo eléctrico visto desde el exterior.

### 4.6.3. Cálculo del Campo Magnético

De acuerdo en lo indicado en el plano de canalización del proyecto, la profundidad a la que se enterrarán los cables correspondientes a 1 [m], tomando como referencia el centroide del conjunto de conductores.

En este caso la zanja es de 1,95 [m] de ancho en total, por lo tanto, la franja de seguridad mínima será de 4 [m] y se representa con una línea roja en la siguiente figura.

**Figura 11. Perfil de campo magnético Zanja Tipo E**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [uT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 2,00 | 1 | 3,45 | 100 | 3,5% |
| Limite franja seguridad izquierda | -2,00 | 1 | 3,45 | 100 | 3,5% |
| Valor máximo en perfil | 0,00 | 1 | 6,45 | 100 | 6,4% |

Fuente: Elaboración propia.

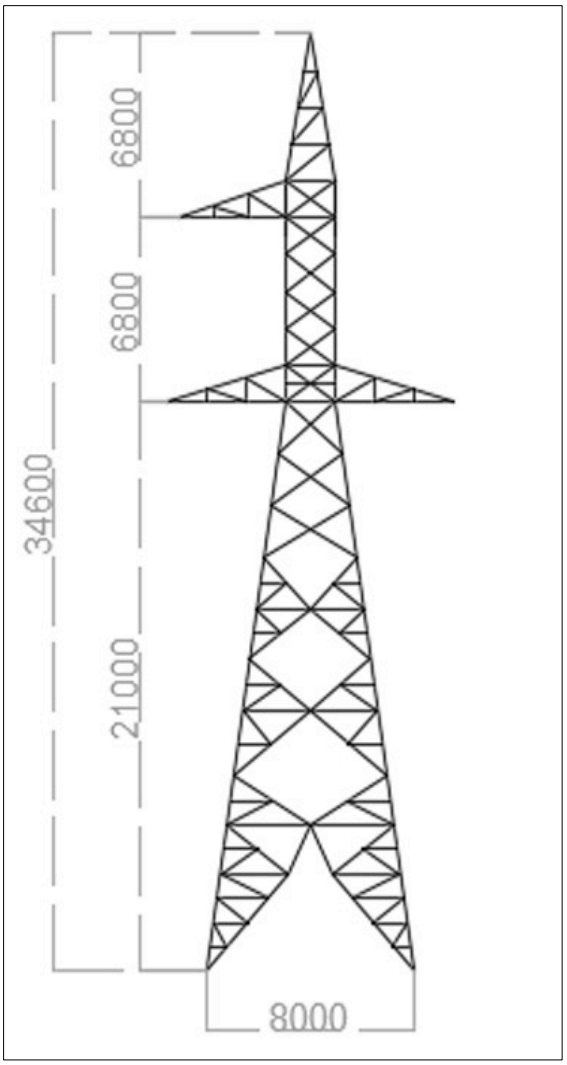
## 4.7. De Línea de 220 kV

### 4.7.1. Características de la Instalación

Se modelará la instalación de para las líneas de 220 kV, considerando la corriente máxima de diseño (500 A), correspondiente a una potencia de 190,5 MVA. Se considera un conductor tipo AAAC Flint, en su condición de altura mínima reglamentaria como escenario más desfavorable para la configuración analizada.

En este caso, corresponde a una estructura metálica reticulada de circuito simple, tal como se aprecia en la Figura 12.

**Figura 12. Corte de la instalación modelada**




Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 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 3.2 del presente documento, con el fin de determinar el campo electromagnético resultante.

**Tabla 11. Datos de entrada**

| Línea | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Estructura 220 kV** | -4,1 | 7,32 | a | AAAC Flint | 0,01258 | 0,01258 | 1 | 220 | 500 |
| | -3,9 | 14,12 | b | AAAC Flint | 0,01258 | 0,01258 | 1 | 220 | 500 |
| | 4,1 | 14,12 | c | AAAC Flint | 0,01258 | 0,01258 | 1 | 220 | 500 |

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

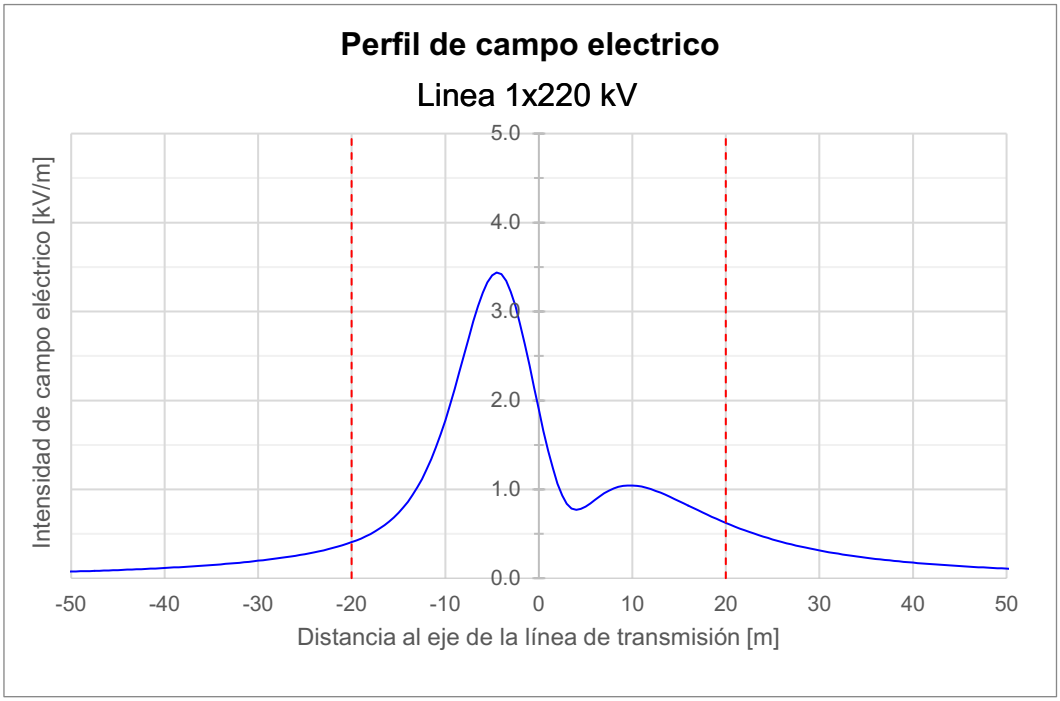
- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a, b, c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor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

### 4.7.2. Cálculo del Campo Eléctrico

A efectos de una modelación más conservadora, se ha considerado el conductor de la fase inferior a 7,32 [m] sobre el suelo, el cual corresponde a la altura mínima reglamentaria de acuerdo con los pliegos técnicos normativos de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), para caminos no transitables.

La franja de seguridad será de 40 [m] en total y se representa con una línea roja en el gráfico siguiente.

**Figura 13. Perfil de campo eléctrico línea de 220 kV**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Eléctrico [kV/m] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 20.00 | 1 | 0.62 | 5 | 12.5% |
| Limite franja seguridad izquierda | -20.00 | 1 | 0.41 | 5 | 8.1% |
| Valor máximo en perfil | -4.50 | 1 | 3.44 | 5 | 68.8% |

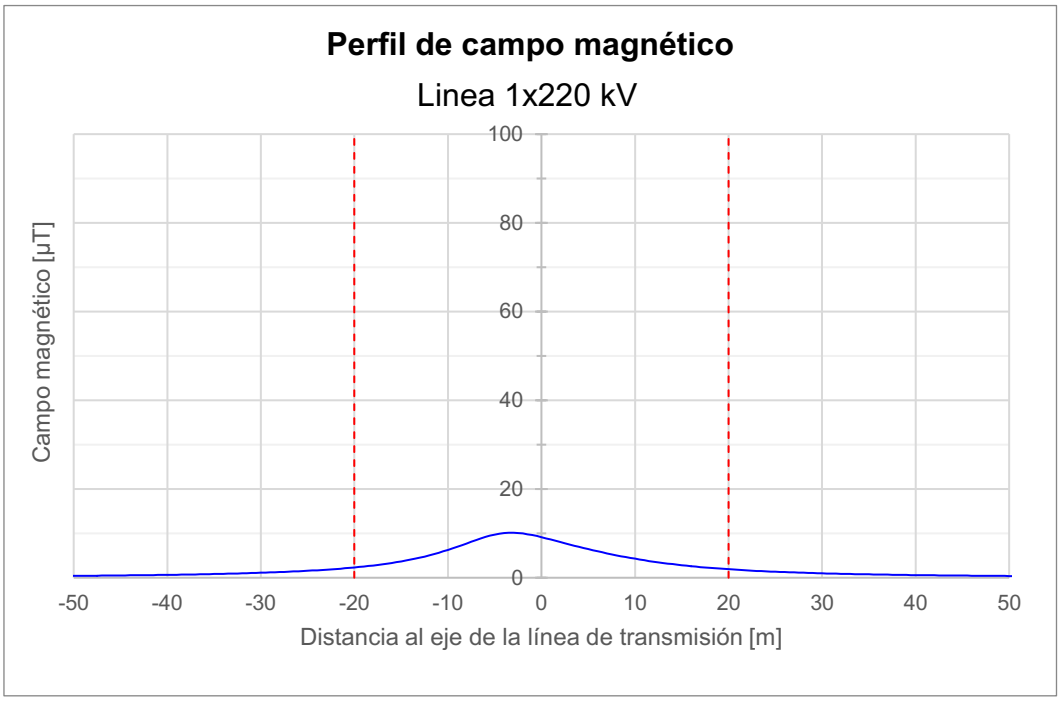
Fuente: Elaboración propia.

### 4.7.3. Cálculo del Campo Magnético

A efectos de una modelación más conservadora, se ha considerado el conductor de la fase inferior a 7,32 [m] sobre el suelo, el cual corresponde a la altura mínima reglamentaria de acuerdo con los pliegos técnicos normativos de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), para caminos no transitables.

La franja de seguridad será de 40 [m] en total y se representa con una línea roja en el gráfico siguiente.

**Figura 14. Perfil de campo magnético línea de 220 kV**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [uT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 20,00 | 1 | 1,91 | 100 | 1,9% |
| Limite franja seguridad izquierda | -20,00 | 1 | 2,32 | 100 | 2,3% |
| Valor máximo en perfil | -3,00 | 1 | 10,14 | 100 | 10,1% |

Fuente: Elaboración propia.

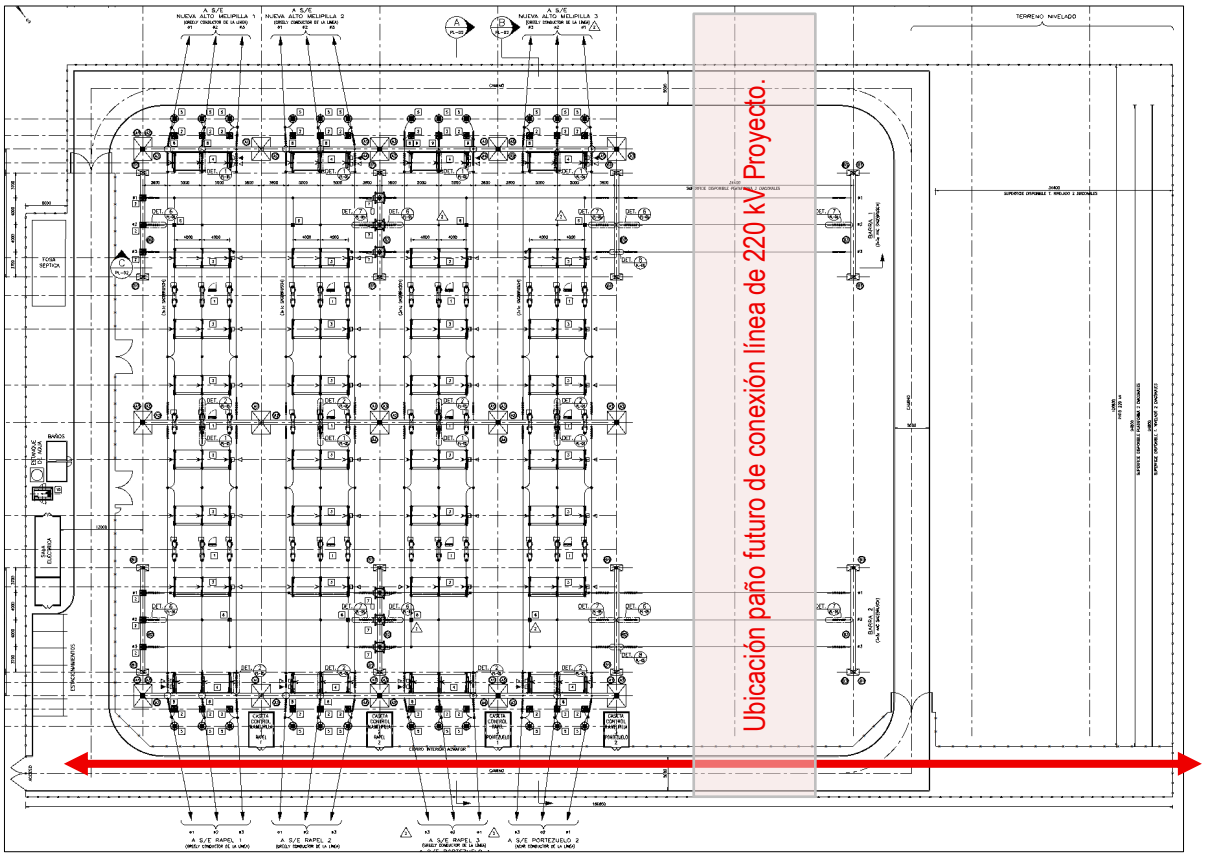
## 4.8. Acometida de la Nueva S/E Loica

### 4.8.1. Características de la Instalación

La futura S/E Loica, cuenta con aprobación ambiental y forma parte del plan de expansión de la transmisión nacional.

Esta subestación estará compuesta por un patio de 220 kV, con una configuración de doble barra con interruptor y medio, en tecnología AIS (Air Insulated Substation). Este patio contará con 4 diagonales completas para el seccionamiento de las líneas de transmisión 2x220 kV Rapel - Nueva Alto Melipilla (Ex Rapel Lo Aguirre) y 1x220 kV Nueva Alto Melipilla Rapel (Ex Alto Melipilla Rapel) más la conexión de la Nueva Línea de Transmisión 2x220 kV Loica – Portezuelo. En esta subestación, el proyecto será conectado en el marco de línea inferior, tal como se muestra en la Figura 15 con una línea roja el perfil modelado.

**Figura 15. Ubicación de la conexión de la línea de 220 kV en la nueva S/E Loica**




Fuente: Elaboración propia a partir de información geográfica del Coordinador Eléctrico Nacional.

En este caso, la línea que sobre la cual se establece el paralelismo, corresponde a una estructura reticulada de 220 kV en circuito simple, tal como se aprecia en la Figura 15.

En la Tabla 14 se presentan los datos de entrada para la simulación de los campos electromagnéticos producidos por la operación de las líneas de transmisión que acomete en la subestación.

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.

Para efectos de verificación del cumplimiento, se considera que la subestación tiene un ancho de 168 [m], por lo tanto, el cumplimiento se verificará en sus deslindes, es decir en x=0 [m] y x=168 [m].

**Tabla 14. Datos de entrada**

| Línea | X (m) | Y (m) | Fase | Conductor | r (m) | R (m) | N | V (kV) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rapel - Alto Melipilla C1 | 22 | 9,4 | a | AAAC Greeley | 0,014 | 0,014 | 1 | 220 | 517 |
| | 26 | 9,4 | b | AAAC Greeley | 0,014 | 0,012 | 1 | 220 | 517 |
| | 30 | 9,4 | c | AAAC Greeley | 0,014 | 0,012 | 1 | 220 | 517 |
| Rapel - Alto Melipilla C2 | 39,2 | 9,4 | a | AAAC Greeley | 0,014 | 0,012 | 1 | 220 | 517 |
| | 43,2 | 9,4 | b | AAAC Greeley | 0,014 | 0,012 | 1 | 220 | 517 |
| | 47,2 | 9,4 | c | AAAC Greeley | 0,014 | 0,012 | 1 | 220 | 517 |
| Rapel - Alto Melipilla C3 | 56,4 | 9,4 | a | AAAC Greeley | 0,014 | 0,014 | 1 | 220 | 919 |
| | 60,4 | 9,4 | b | AAAC Greeley | 0,014 | 0,014 | 1 | 220 | 919 |
| | 64,4 | 9,4 | c | AAAC Greeley | 0,014 | 0,014 | 1 | 220 | 919 |
| LT Loica – Portezuelo (Proyectada) | 73,6 | 9,4 | a | ACAR 1250 | 0,016 | 0,016 | 1 | 220 | 787 |
| | 77,6 | 9,4 | b | ACAR 1250 | 0,016 | 0,016 | 1 | 220 | 787 |
| | 81,6 | 9,4 | c | ACAR 1250 | 0,016 | 0,016 | 1 | 220 | 787 |
| Línea 220 kV (Proyecto) | 90,8 | 9,4 | a | AAAC Flint | 0,013 | 0,013 | 1 | 220 | 500 |
| | 94,8 | 9,4 | b | AAAC Flint | 0,013 | 0,013 | 1 | 220 | 500 |
| | 98,8 | 9,4 | c | AAAC Flint | 0,013 | 0,013 | 1 | 220 | 500 |

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

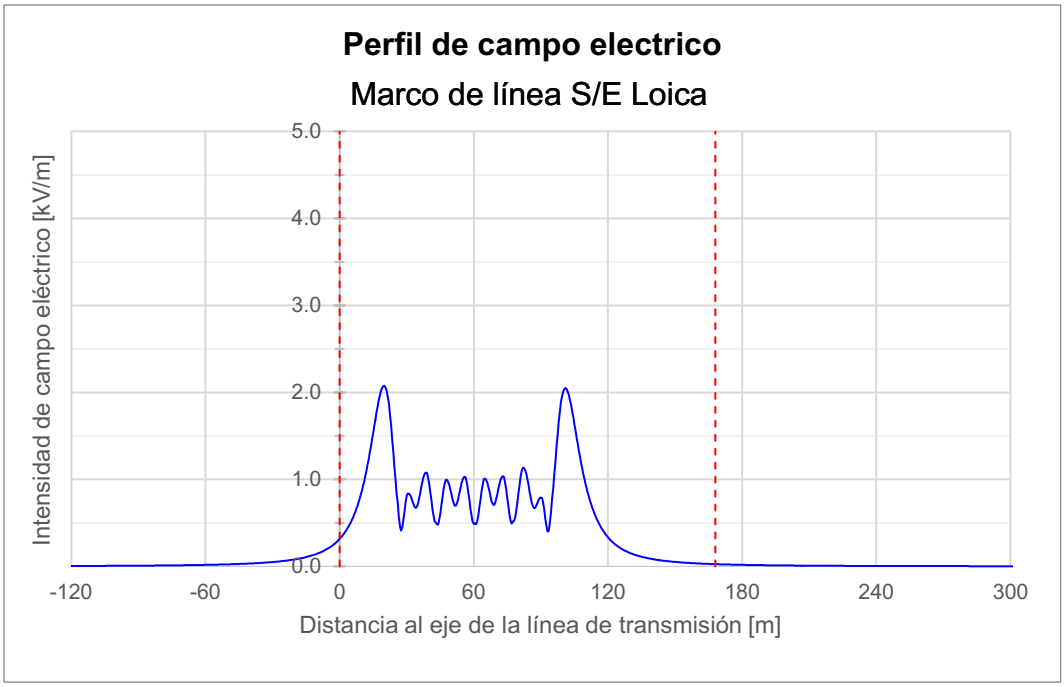
- X: Coordenada x del conductor de fase (m)
- Y: Coordenada y del conductor de fase (m).
- Fase: Fase modelada (a, b, c)
- Conductor: Nombre comercial del conductor
- r: Radio del conductor expresado en metros (m)
- R: Radio equivalente del conjunto de conductores, en el caso de líneas con un solo conductor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

### 4.8.2. Cálculo del Campo Eléctrico

A efectos de una modelación más conservadora, se ha considerado el conductor de la fase inferior a 9,4 [m] sobre el suelo para todas las acometidas de líneas de 220 kV, la cual corresponde según las especificaciones de la subestación a la altura de la estructura del marco de línea.

La franja de seguridad se considera en los deslindes de la subestación y se representa con una línea roja.

**Figura 16. Perfil de campo eléctrico Acometida S/E Loica**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Eléctrico [kV/m] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 168,00 | 1 | 0,03 | 5 | 0,5% |
| Limite franja seguridad izquierda | 0,00 | 1 | 0,31 | 5 | 6,3% |
| Valor máximo en perfil | 20,00 | 1 | 2,08 | 5 | 41,5% |

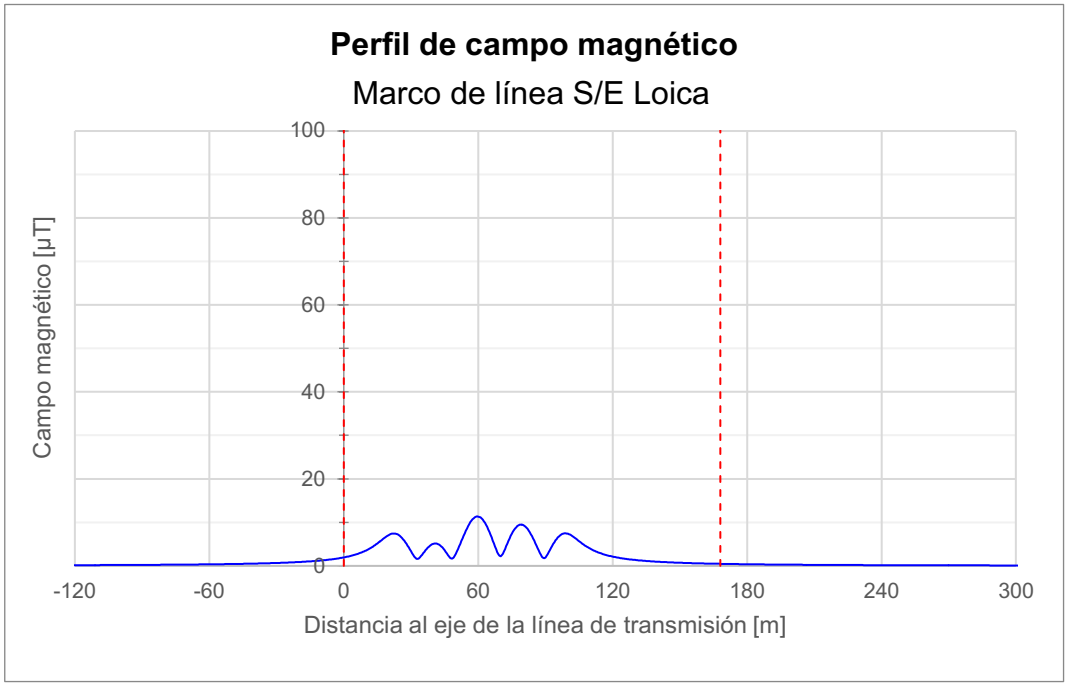
Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.3. Cálculo del Campo Magnético

A efectos de una modelación más conservadora, se ha considerado el conductor de la fase inferior a 9,4 [m] sobre el suelo para todas las acometidas de líneas de 220 kV, la cual corresponde según las especificaciones de la subestación a la altura de la estructura del marco de línea.

La franja de seguridad se considera en los deslindes de la subestación y se representa con una línea roja.

**Figura 17. Perfil de campo magnético acometida S/E Loica**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16. Resultados perfil de campo magnético**

| Punto de medida | x [m] | y[m] | Campo Magnético [µT] | Limite | % Valor límite |
|---|---|---|---|---|---|
| Limite franja seguridad derecha | 168,00 | 1 | 0,46 | 100 | 0,5% |
| Limite franja seguridad izquierda | 0,00 | 1 | 1,93 | 100 | 1,9% |
| Valor máximo en perfil | 59,50 | 1 | 11,34 | 100 | 11,3% |

Fuente: Elaboración propia.

# 5. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

## 5.1. Normativa Aplicable

En nuestro país los valores límites permitidos de exposición de las personas a los campos electromagnéticos de frecuencia industrial provocados por líneas y subestaciones eléctricas, está definido por la normativa nacional sectorial vigente.

En particular, lo indicados el punto 4.7 del RPTD N°07, Franja y distancia de seguridad y por el punto 5.1.9 del RPTD N°10, Centrales de producción, correspondientes a los Pliegos Técnicos (Dto. 109/2017 Min. De Energía).

A continuación, se destacan los párrafos de esta normativa aplicable al proyecto, donde se indican los límites máximos de exposición:

**Punto 4.7 RPTD N°07**

Los límites máximos permisibles para la seguridad de las personas, en cuanto a la emisión de campo electromagnético para el diseño de líneas aéreas de corriente alterna de 50 Hz de frecuencia, y que será evaluado 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, serán los que determinen las normas respectivas. En ausencia de regulación técnica nacional, se debe cumplir con lo siguiente:

5 kV/m para campo eléctrico (valor RMS) /100 µT para campo magnético (valor RMS).

**Punto 5.1.9 RPTD N°10**

Los límites máximos permisibles de emisión de campo electromagnético, fuera del deslinde de una subestación de transmisión, a 1 metro sobre el nivel del suelo, serán los que determinen las normas respectivas. En ausencia de regulación técnica nacional, se debe cumplir con lo siguiente:

5 kV/m para campo eléctrico (valor RMS) / 100 µT para campo magnético (valor RMS).

Por otra parte, para efectos de la evaluación de impactos en el SEIA asociados a campos electromagnéticos, no existe normativa nacional que considere como objetivo la protección a la salud de la población, razón por la cual se utilizan normativas de referencia, según lo dispuesto en el artículo 11 del Reglamento del SEIA.

El Decreto Nº 40 del Ministerio del Medio Ambiente, "Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental", publicado el 12-08-2013, y que entró en vigencia el 24-12-2013, indica en su Artículo 11:

"Artículo 11.- Normas de referencia.

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."

La Tabla 17, presenta las principales normas de referencia aplicables en Chile, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 11.

**Tabla 17. Límites de exposición humana a campos electromagnéticos de 50 [Hz]**

| País/Entidad | Público General | | Exposición Ocupacional | |
|---|---|---|---|---|
| | Intensidad de campo eléctrico [V/m] | Densidad de Flujo magnético [μT] | Intensidad de campo eléctrico [V/m] | Densidad de Flujo magnético [μT] |
| Alemania | 5000 | 100 | 5000 | 100 |
| Argentina | 3000 | 25 | 3000 | 25 |
| Australia | 5000 | 100 | 10000 | 500 |
| Canadá | N/A | N/A | N/A | N/A |
| España | 5000 | 100 | 10000 | 500 |
| Japón | 3000 | N/A | 10000 | 500 |
| Países Bajos | 8000 | 120 | 40000 | 600 |
| Suecia | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Suiza | 5000 | 100 | 5000 | 100 |
| ICNIRP | 5000 | 200 | 10000 | 500 |
| IEEE | 5000 | 900 | 20000 | 2700 |
| Unión Europea | 5000 | 100 | 10000 | 500 |

Fuente: Elaboración propia.

La recomendación de uso más frecuente para público general y exposición permanente es la publicada por la ICNIRP en el año 2010 (International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection), que establece 5.000 [V/m] para el campo eléctrico y 200 [μT] para la inducción magnética.

El límite para campo eléctrico indicado por ICNIRP es concordante con lo establecido con el Consejo de Unión Europea (Directive 1999/519/CE) y con la normativa sectorial nacional, por lo tanto se utilizará 5 [kV/m] como límite.

Por otro lado, el límite para campo magnético indicado por ICNIRP resulta mayor a lo establecido con el Consejo de Unión Europea (Directive 1999/519/CE) y con la normativa sectorial nacional, por lo tanto, en este caso de utilizará el valor más conservador, correspondiente a 100 [μT[1]].

[1] 100 μT equivale a 1000 mG (miliGauss).

## 5.2. Verificación de los Valores Obtenidos

A continuación, se presenten los valores máximos obtenidos para cada simulación.

**Tabla 18. Valores obtenidos para campo eléctrico**

| Línea | Ubicación franja izq. [m] | Valor izq. | Límite ICNIRP | % límite izq | Cumple | Ubicación franja der. [m] | Valor der. | Límite ICNIRP | % límite der. | Cumple |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zanja MT A | -1 | - | 5 | - | SI | - | 0,139 | - | 2,8% | SI |
| Zanja MT B | -1 | - | 5 | - | SI | - | 0,293 | - | 5,9% | SI |
| Zanja MT C | -1,5 | - | 5 | - | SI | - | 0,190 | - | 3,8% | SI |
| Zanja MT D | -1,5 | - | 5 | - | SI | - | 0,252 | - | 5,0% | SI |
| Zanja MT E | -2 | - | 5 | - | SI | - | 0,171 | - | 3,4% | SI |
| Línea 1x220 kV | -20 | 0,407 | 5 | 8,1% | SI | 20 | 0,623 | 5 | 12,5% | SI |
| Paralelismo con Rapel - Alto Melipilla C3 | -30 | 0,610 | 5 | 12,2% | SI | 30 | 0,642 | 5 | 12,8% | SI |
| Marco de línea S/E Loica | 0 | 0,315 | 5 | 6,3% | SI | 168 | 0,026 | 5 | 0,5% | SI |

Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo de campo eléctrico en el límite de la franja corresponde a 0,642 [kV/m], registrado en el paralelismo con la línea Rapel - Alto Melipilla C3, y resulta inferior al límite de referencia para campo eléctrico de 5 [kV/m].

En las restantes instalaciones evaluadas, los valores de campo eléctrico en el límite de la franja también se mantienen bajo dicho umbral, con máximos de 0,623 [kV/m] en la Línea 1x220 kV, 0,315 [kV/m] en el marco de línea de la S/E Loica, y entre 0,139 [kV/m] y 0,293 [kV/m] en las zanjas MT A a MT E.

Por lo tanto, los valores evaluados en todas las instalaciones analizadas cumplen con el límite de referencia para campo eléctrico, alcanzando como máximo un 12,8% del límite establecido.

**Tabla 19. Valores obtenidos para campo magnético**

| Línea | Ubicación franja izq. [m] | Valor izq. | Límite ICNIRP | % límite izq | Cumple | Ubicación franja der. [m] | Valor der. | Límite ICNIRP | % límite der. | Cumple |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zanja MT A | -1 | 1,649 | 100 | 1,6% | SI | 1 | 1,649 | 100 | 1,6% | SI |
| Zanja MT B | -1 | 2,823 | 100 | 2,8% | SI | 1 | 2,823 | 100 | 2,8% | SI |
| Zanja MT C | -1,5 | 2,970 | 100 | 3,0% | SI | 1,5 | 2,970 | 100 | 3,0% | SI |
| Zanja MT D | -1,5 | 3,728 | 100 | 3,7% | SI | 1,5 | 3,728 | 100 | 3,7% | SI |
| Zanja MT E | -2 | 3,453 | 100 | 3,5% | SI | 2 | 3,453 | 100 | 3,5% | SI |
| Línea 1x220 kV | -20 | 2,323 | 100 | 2,3% | SI | 20 | 1,915 | 100 | 1,9% | SI |
| Paralelismo con Rapel - Alto Melipilla C3 | -30 | 4,844 | 100 | 4,8% | SI | 30 | 2,495 | 100 | 2,5% | SI |

| Línea | Ubicación franja izq. [m] | Valor izq. | Límite ICNIRP | % límite izq | Cumple | Ubicación franja der. [m] | Valor der. | Límite ICNIRP | % límite der. | Cumple |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marco de línea S/E Loica | 0 | 1,931 | 100 | 1,9% | SI | 168 | 0,460 | 100 | 0,5% | SI |

Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo de campo magnético en el límite de la franja corresponde a 4,844 [µT], registrado en el paralelismo con la línea Rapel - Alto Melipilla C3, y resulta inferior al límite de referencia para campo magnético de 100 [µT].

En las restantes instalaciones evaluadas, los valores de campo magnético en el límite de la franja también se mantienen bajo dicho umbral, con máximos de 2,323 [µT] en la Línea 1x220 kV, 1,931 [µT] en el marco de línea de la S/E Loica, y entre 1,649 [µT] y 3,728 [µT] en las zanjas MT A a MT E.

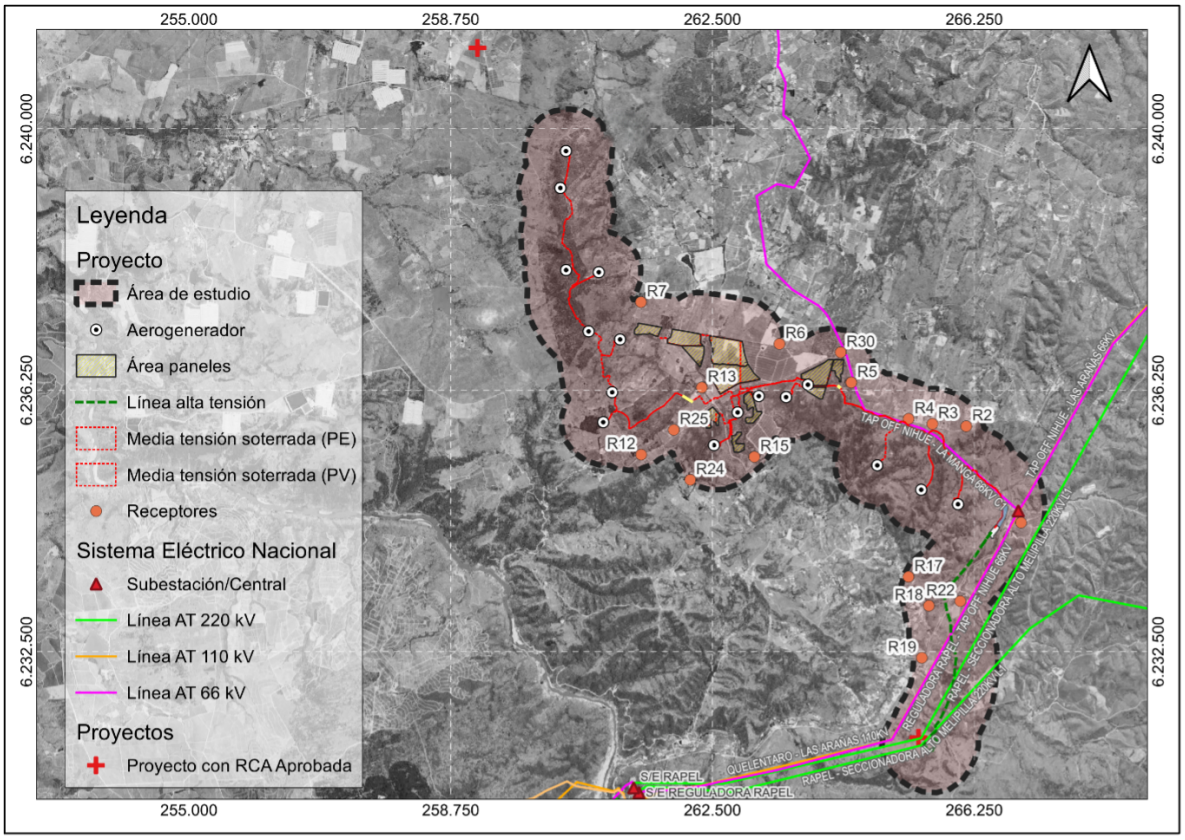
# 6. RECEPTORES

## 6.1. Caracterización

Cercano al área del Proyecto, se han caracterizado 19 receptores dentro del área de estudio, cuya ubicación geográfica se presenta en la Figura 18 y cuyo detalle se presenta en la Tabla 20.

El área de estudio fue definida en el capítulo de línea de base del presente expediente.

**Figura 18. Ubicación de los receptores**




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20. Listado de receptores dentro del área de estudio**

| Receptor | Descripción | Coordenada UTM Huso 19 S – WGS84 | |
|---|---|---|---|
| | | Este [m] | Norte [m] |
| R2 | Vivienda de un piso, poco perceptible por arbustos. Ruta G-850, San Pedro, Melipilla | 266.136 | 6.235.732 |
| R3 | Vivienda abandonada, material ligero 1 piso. Ruta G-840, San Pedro, Melipilla | 265.652 | 6.235.766 |
| R4 | Vivienda de un piso, material ligero. Camino a Rapel, San Pedro, Melipilla | 265.310 | 6.235.839 |
| R5 | Iglesia de material sólido. Ruta G-850, San Pedro, Melipilla | 264.490 | 6.236.360 |
| R6 | Vivienda de un piso poco perceptible por arbustos. Ruta G-850, San Pedro, Melipilla | 263.461 | 6.236.913 |

| Receptor | Descripción | Coordenada UTM Huso 19 S – WGS84 | |
|---|---|---|---|
| | | Este [m] | Norte [m] |
| R7 | Vivienda de un piso de material ligero. Ruta G-850, San Pedro, Melipilla | 261.476 | 6.237.513 |
| R12 | Vivienda de un piso, material sólido. Ruta G-822, San Pedro, Melipilla | 261.480 | 6.235.325 |
| R13 | Iglesia de material ligero utilizada como galpón. Ruta G-868, Litueche, Cardenal Caro, O'Higgins | 262.349 | 6.236.288 |
| R15 | Vivienda de un piso poco perceptible por arbustos. Ruta G-840, San Pedro, Melipilla | 263.101 | 6.235.293 |
| R17 | Jardín Infantil Alternativo "Frutillita". Ruta G-868, Litueche, Cardenal Caro, O'Higgins | 265.309 | 6.233.573 |
| R18 | Vivienda de un piso, material sólido. Ruta G-868, Litueche, Cardenal Caro, O'Higgins | 265.602 | 6.233.158 |
| R19 | Vivienda de un piso material sólido. Ruta G-868, Litueche, Cardenal Caro, O'Higgins | 265.501 | 6.232.411 |
| R22 | Galpón, zona de campo. H-62-G, Litueche, O'Higgins | 266.052 | 6.233.224 |
| R23 | Galpón de marca Aristía. Camino a Rapel, San Pedro, Melipilla | 266.922 | 6.234.350 |
| R24 | Vivienda de un piso, material sólido. San Pedro, Melipilla | 262.183 | 6.234.964 |
| R25 | Vivienda poco perceptible. San Pedro, Melipilla | 261.948 | 6.235.680 |
| R30 | Vivienda de dos pisos, material sólido. Ruta G-850, San Pedro, Melipilla | 264.338 | 6.236.793 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21. Distancia entre receptores y elementos del Proyecto**

| Receptor | Distancia a elementos del proyecto [m] | |
|---|---|---|
| | Línea soterrada 33 kV | Línea AT 220 kV |
| R2 | 361 | 1572 |
| R3 | 95 | 1775 |
| R4 | 69 | 2018 |
| R5 | 168 | 2941 |
| R6 | 538 | 4064 |
| R7 | 522 | 5978 |
| R12 | 407 | 4737 |
| R13 | 124 | 4510 |
| R15 | 434 | 3306 |
| R17 | 1235 | 527 |
| R18 | 1458 | 239 |
| R19 | 2133 | 476 |
| R22 | 1157 | 215 |
| R23 | 280 | 461 |

| Receptor | Distancia a elementos del proyecto [m] | |
|---|---|---|
| | Línea soterrada 33 kV | Línea AT 220 kV |
| R24 | 580 | 3948 |
| R25 | 372 | 4485 |
| R30 | 283 | 3368 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22. Verificación de receptores y campos generados por canalización MT del Proyecto**

| Receptor | Campo eléctrico [kV/m] | | | Campo magnético [µT] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Valor | Límite | Cumple | Valor | Límite | Cumple |
| R2 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R3 | 0,000 | 5 | SI | 0,003 | 100 | SI |
| R4 | 0,000 | 5 | SI | 0,006 | 100 | SI |
| R5 | 0,000 | 5 | SI | 0,001 | 100 | SI |
| R6 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R7 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R12 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R13 | 0,000 | 5 | SI | 0,002 | 100 | SI |
| R15 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R17 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R18 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R19 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R22 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R23 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R24 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R25 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R30 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 23. Verificación de receptores y campos generados por línea 220 kV del Proyecto**

| Receptor | Campo eléctrico [kV/m] | | | Campo magnético [µT] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Valor | Límite | Cumple | Valor | Límite | Cumple |
| R2 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R3 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R4 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R5 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R6 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |

| Receptor | Campo eléctrico [kV/m] | | | Campo magnético [µT] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Valor | Límite | Cumple | Valor | Límite | Cumple |
| R7 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R12 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R13 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R15 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R17 | 0,001 | 5 | SI | 0,004 | 100 | SI |
| R18 | 0,004 | 5 | SI | 0,020 | 100 | SI |
| R19 | 0,001 | 5 | SI | 0,005 | 100 | SI |
| R22 | 0,005 | 5 | SI | 0,024 | 100 | SI |
| R23 | 0,001 | 5 | SI | 0,006 | 100 | SI |
| R24 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R25 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |
| R30 | 0,000 | 5 | SI | 0,000 | 100 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo de campo eléctrico en los receptores identificados corresponde a 0,005 [kV/m], registrado en el receptor R22 por efecto de la línea AT 220 kV del Proyecto, equivalente a un 0,1 % del límite de referencia de 5 [kV/m].

El valor máximo de campo magnético en los receptores identificados corresponde a 0,024 [µT], también registrado en el receptor R22 por efecto de la línea AT 220 kV del Proyecto, equivalente a un 0,024 % del límite de referencia de 100 [µT].

## 7. CONCLUSIONES

El informe concluye que los valores modelados de campo eléctrico y campo magnético para las instalaciones evaluadas se mantienen bajo los límites de referencia adoptados.

Para campo eléctrico, el máximo en el límite de la franja es 0,642 kV/m en el paralelismo con Rapel - Alto Melipilla C3, equivalente a 12,8% del límite de 5 kV/m.

Para campo magnético, el máximo en el límite de la franja es 4,844 µT en ese mismo paralelismo, equivalente a 4,8% del límite de 100 µT.

Respecto de los receptores, se incorpora su identificación y distancia a los elementos del proyecto dentro del área de estudio, en el marco de la evaluación de exposición sobre población.

A partir de dicho análisis se determina que la operación del proyecto no genera niveles de campo electromagnético relevantes para los receptores analizados, obteniéndose valores muy inferiores a los valores de referencia.