MAINSTREAM RENEWABLE POWER

DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

PARQUE EÓLICO CERRO TIGRE

Mainstream Renewable Power



PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL
ADENDA
ANEXO AD-03: ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Mankuk
CONSULTING & SERVICES S.A.

Julio 2015

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 2

2.1 Objetivo General 2

2.2 Objetivos Específicos 2

3. CONTEXTO GENERAL 2

3.1 Localización del Proyecto 2

3.2 Normas de Referencia para la Exposición a Campos Electromagnéticos 3

3.3 Fuentes de Campo Electromagnético Consideradas en el Proyecto 4
3.3.1 Línea de Transmisión Eléctrica 4
3.3.2 Subestación Elevadora 6
3.3.3 Subestación Seccionadora 7

4. METODOLOGÍA 7

5. CÁLCULO DEL VALOR DE CAMPO ELECTRTICO 8

5.1 Resultados 8
5.1.1 Campo Eléctrico Línea de Transmisión 8
5.1.2 Subestaciones Eléctricas 11

6. CÁLCULO DEL VALOR DE CAMPO MAGNÉTICO 12

6.1 Resultados 12
6.1.1 Línea de Transmisión Eléctrica 12
6.1.2 Subestaciones Eléctricas 14

7. CONCLUSIONES 15

FIGURAS

Figura CE-1: Ubicación Específica del Proyecto 3

Figura CE-2: Características de Torres de Remate y Soporte 5

Figura CE-3: Características Torre Anclaje A220B 5

Figura CE-4: Disposición de Conductores en la Torre S220B y Asignación de Fases 8

Figura CE-5: Líneas de Campo Eléctrico Generado por los Conductores en la Torre 9

Figura CE-6: Intensidades de Campo Eléctrico Generado por la LdT 9

Figura CE-7: Línea de Corte Transversal a 17,1 m de Altura 10

Figura CE-8: Perfil de Intensidades de Campo Eléctrico (*103V/m) a 17,1 m de Altura 10

Figura CE-9: Perfil de Intensidades de Campo Eléctrico (V/m) a la Altura de 1 m y a lo Largo de la Franja de Servidumbre de la Línea 11

Figura CE-10: Líneas de Flujo Magnético para LdT 13

Figura CE-11: Densidades de Flujo Magnético 13

Figura CE-12: Densidades de Flujo Magnético (μT) Encontradas a 1 m de altura 14

TABLAS

Tabla CE-1: Límites de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos 4

Tabla CE-2: Características Generales del Cable AAAC-Flint 6

Tabla CE-3: Parámetros Línea de Transmisión 6

Tabla CE-4: Características de la Subestación Elevadora 6

Tabla CE-5 Características Generales de la Subestación Seccionadora 7

Tabla CE-6: Equipos Generales de la Subestación Seccionadora 7

Tabla CE 7: Voltajes y Corrientes para LAT 8

Tabla CE-8: Datos para el Análisis del Campo Magnético en LdT 12

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define campo eléctrico como aquel generado por una diferencia de voltaje, mientras que el campo magnético es generado por el movimiento de corriente eléctrica.

Dichos campos pueden ser de origen natural o antrópico. Dentro de los primeros, es posible nombrar las tormentas eléctricas (en el caso de los campos eléctricos) y el campo magnético de la tierra. Los campos eléctricos generados por situaciones antrópicas son por ejemplo los rayos X; los campos magnéticos provenientes de artefactos eléctricos.

En el siguiente Anexo, se describe el estudio de Campo Electromagnético, en el marco del Proyecto *Parque Eólico Cerro Tigre*, localizado a 50 kilómetros al oriente de la ciudad de Antofagasta. Región de Antofagasta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Estimar los valores de campo electromagnético de las distintas fuentes, tales como subestaciones y líneas de transmisión.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar fuentes de campos electromagnéticos.
- Calcular valor de campo electromagnético.

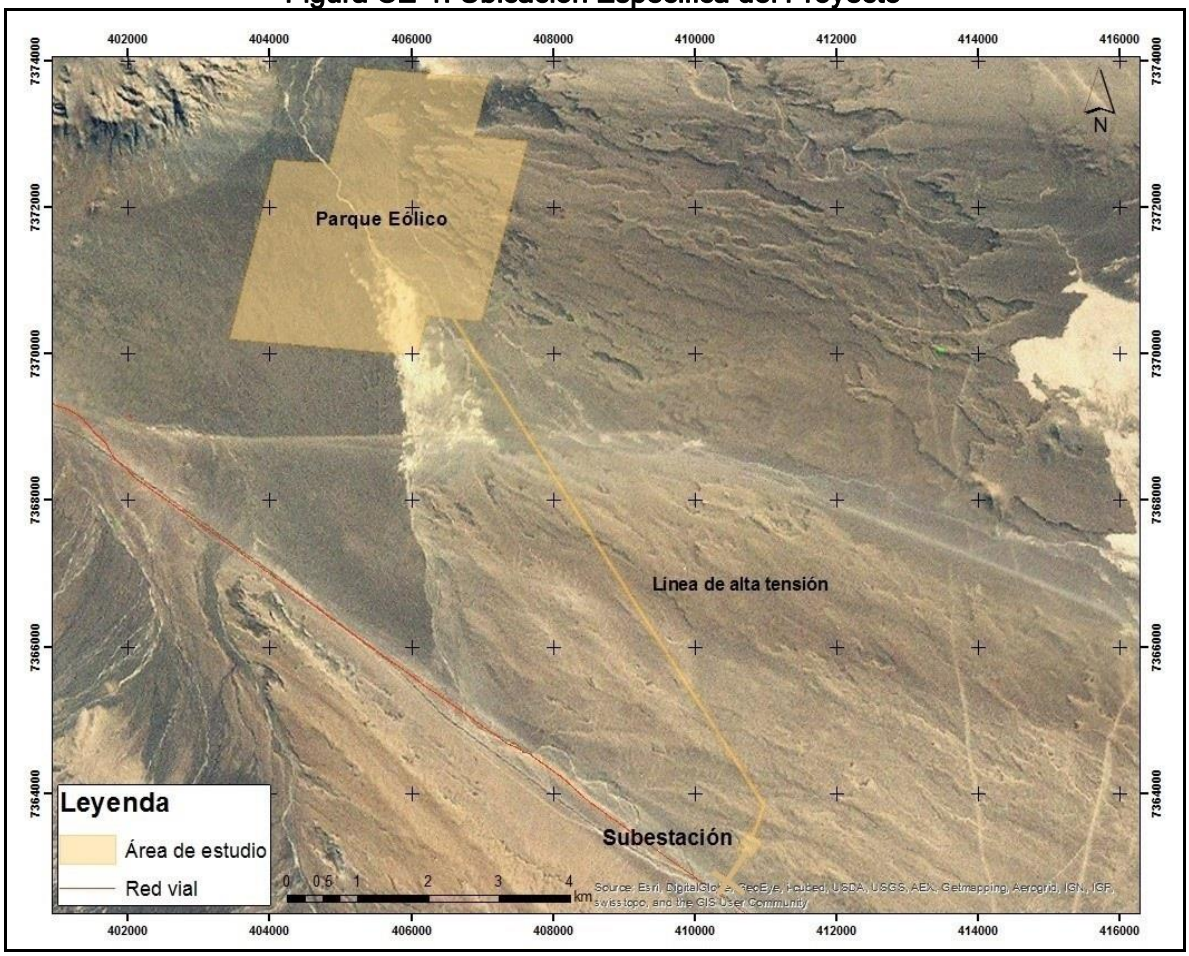
3. CONTEXTO GENERAL

3.1 Localización del Proyecto

El Proyecto *Parque Eólico Cerro Tigre* consiste en la construcción y operación de un Parque Eólico de 80 aerogeneradores con una capacidad instalada de 264 MW de potencia, una subestación elevadora, una línea de transmisión de alta tensión de 220 kV y 9,6 kilómetros de longitud total, y una subestación eléctrica seccionadora que recibe la energía que proviene desde la línea de transmisión del parque y la inyecta al SING mediante sendas líneas de alta tensión hasta la línea Atacama – Domeyko, propiedad de Minera Escondida.

En la Figura CE-1 se muestra la ubicación específica del proyecto.

Figura CE-1: Ubicación Específica del Proyecto



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen de Google Earth

3.2 Normas de Referencia para la Exposición a Campos Electromagnéticos

Actualmente, Chile no cuenta con una normativa vigente que establezca los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos en el ámbito de generación eléctrica, por lo que de acuerdo a lo establecido en el Artículo N°7 del Decreto N° 40/2014, "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, Confederación de Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de Norteamérica, Nueva Zelandia, Reino de los Países Bajos, República de Italia, 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."

En la Tabla CE-1 se muestran los valores límites establecidos en cada uno de los países mencionados en el Artículo N°7, citado con anterioridad.

Tabla CE-1: Límites de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos Países de referencia

PAÍS	Público en General		Exposición Ocupacional	
	Campo Eléctrico	Campo Magnético	Campo Eléctrico	Campo Magnético
	kV/m	Micro Tesla	kV/m	Micro Tesla
Alemania	5,0	100	5,0	100
Argentina	3,0	25	3,0	25
Australia	5,0	10	10,0 - 30,0	500
Canadá	No hay	No hay	No hay	No hay
España	CEU	CEU	CEU	CEU
Italia	5,0	100	5,0	10
Japón	3,0	No hay	ICNIRP	ICNIRP
U.S.A.	2,0	15 - 20	2,0 - 11,8	15 - 20
Reino Países Bajos	ICNIRP	ICNIRP	ICNIRP	ICNIRP
Suecia	No definido	No definido	No definido	No definido
Suiza	5,0	100	5,0	1
ICNIRP	5,0	100	10,0	500
IEEE	5,0	904	20,0	2710
Consejo Unión Europea (CEU)	5,0	100	10,0	500

ICNIRP: Comisión Internacional de Protección Contra la Radiación No Ionizante.
IEEE: Sigla en inglés del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Fuente: Elaboración propia a partir de revisión de proyectos similares en sea.gov.cl.

3.3 Fuentes de Campo Electromagnético Consideradas en el Proyecto

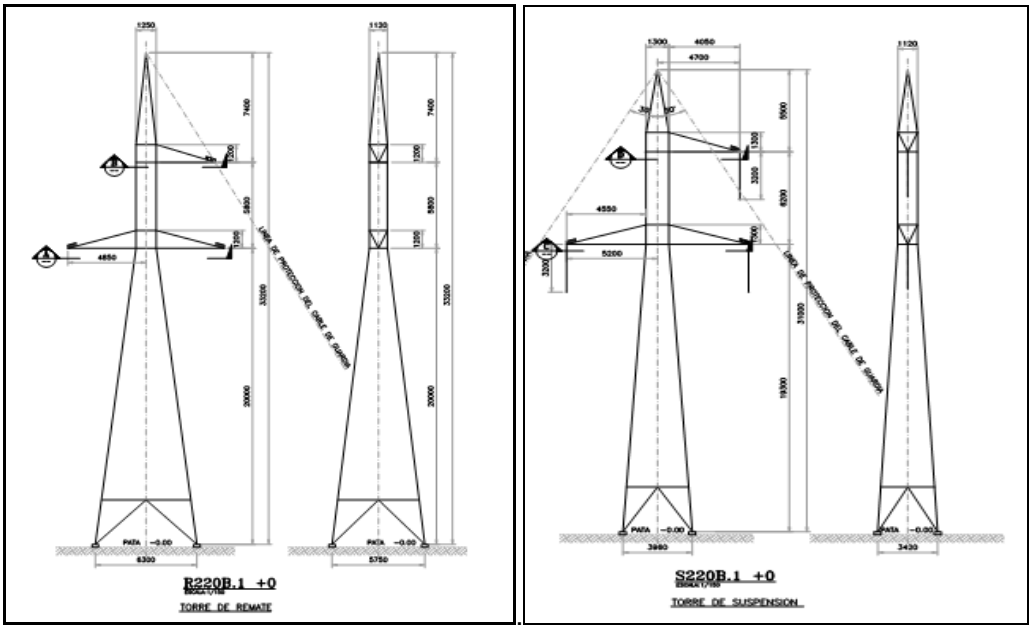
3.3.1 Línea de Transmisión Eléctrica

A modo de contexto, se indica que la Línea de Transmisión Eléctrica (LdT) del Proyecto comprende un trazado de 9,6 Km. con 26 torres de sustentación (S220B), dos torres de remate (R220B) y una torre de anclaje (A220B). Esta LdT será la encargada de llevar la energía generada en el Parque Eólico, cuyo origen es la Subestación Elevadora del Parque, hasta la Subestación Seccionadora.

Eléctricamente, la LdT considerada para el Proyecto está constituida por un circuito simple trifásico con un conductor por fase y cable de guarda, con capacidad para 150MW. El cable conductor es del tipo AAAC-Flint con las características mostradas en la tabla CE-1.

Los parámetros de la LdT se encuentran descritos en la Tabla CE-2 mientras que el diseño de las torres se encuentra en las figuras CE-2 y CE-3.

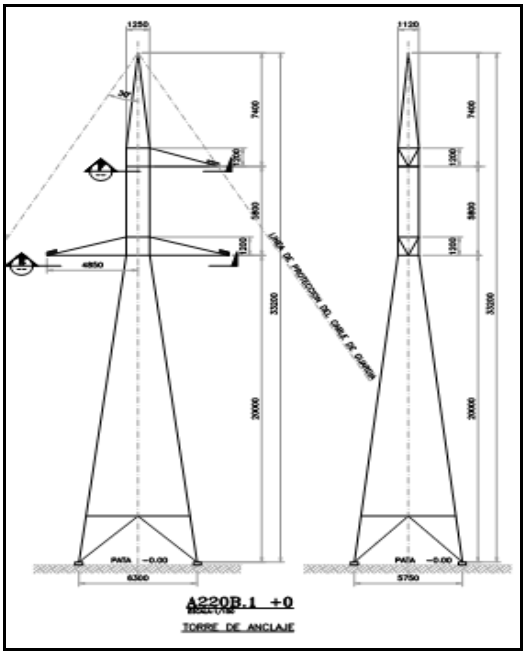
Figura CE-2: Características de Torres de Remate y Soporte



Torre Remate R220B Torre Soporte S220B

Fuente: Elaboración propia

Figura CE-3: Características Torre Anclaje A220B



Fuente: Elaboración propia

Tabla CE-2: Características Generales del Cable AAAC-Flint

Sección Transversal	374.5 [mm^2]
Numero de Hilos	37
Diámetro del Conductor	25.13[mm]
Peso	1028 [Kg/Km]
Resistencia DC	0.0894

Fuente: Elaboración propia

Tabla CE-3: Parámetros Línea de Transmisión

Categoría	C, de acuerdo a Reglamento NSEG 5
Tensión	220 kV
Frecuencia	50 Hz
Número de conductores por fase	1
Número de Fases	3
Tipo de Conductor	AAAC Flint
Disposición Geométrica	Triangular
Longitud Total	9,6 Km
Ancho franja servidumbre	50 m (25 m a cada lado)

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Subestación Elevadora

La Subestación Elevadora tiene como función principal elevar la tensión de la energía producida en los aerogeneradores desde 33 kV a 220 kV para conducirla a través de la LdT hasta la Subestación Seccionadora. Dentro de sus principales características, puede mencionarse que será de doble barra y barra de transferencia, en 220 kV y contará con 8 paños de protección.

En Tabla CE-4 se presenta las características de la Subestación Elevadora.

Tabla CE-4: Características de la Subestación Elevadora

Tensión Nominal	220 kV
Potencia Nominal	300 MW
Frecuencia	50Hz
Número de paños	8
Esquema Conexión	Doble y Transferencia
Altura máximo	760 (m.s.n.m)

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Subestación Seccionadora

La Subestación Seccionadora permitirá la conexión del Proyecto con la red eléctrica del SING. Será de doble barra, en 220 kV, contará con ocho paños de protección un cerco perimetral tipo bulldog o similar, con una superficie total de 19.630 m^2.

En Tabla CE-5 se presenta las características de la Subestación Elevadora, mientras que en Tabla CE-6 se presentan sus equipos generales.

Tabla CE-5 Características Generales de la Subestación Seccionadora

Tensión Nominal	220 kV
Potencia Nominal	300 MW
Frecuencia	50Hz
Número de paños	8
Esquema Conexión	Doble y Transferencia
Altura máximo	900 (m.s.n.m)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla CE-6: Equipos Generales de la Subestación Seccionadora

Interruptor	Siete, trifásicos de 245 kV en SF6, monopolar, 3150 A, 40 kA
Transformadores	Quince, 245 kV, 300-600-1200/5-5-5-5 A, 40 kA
Desconectadores	• Trece, 245 kV, tripolares de apertura horizontal sin puesta a tierra, 1600 A, 40 kA. • Siete, 245 kV, tripolares de apertura horizontal con puesta a tierra, 1600 A, 40 kA
Condensadores	Ocho, de 245 kV

Fuente: Elaboración Propia

4. METODOLOGÍA

Para evaluar las intensidades de campo, se ha realizado un análisis mediante elementos finitos utilizando el software *Quickfield pro 6v0*.

Se ha considerado que el 90% del trazado de la LdT estará anclado a las torres de suspensión S220B, por lo que el análisis centra en este tipo de estructura, mientras que para la estimación de las corrientes se ha considerado un factor de potencia unitario con la LdT operando a pleno régimen. De acuerdo a lo anterior, los voltajes y corrientes son los descritos en la Tabla CE-7.

Tabla CE 7: Voltajes y Corrientes para LAT

Potencia Trifásica	150 MW RMS
Voltaje de Línea	220 KV RMS
Voltaje de Fase	127 KV RMS
Corriente de Línea	227 A RMS
Corriente de Fase	227 A RMS

Fuente: Elaboración Propia.

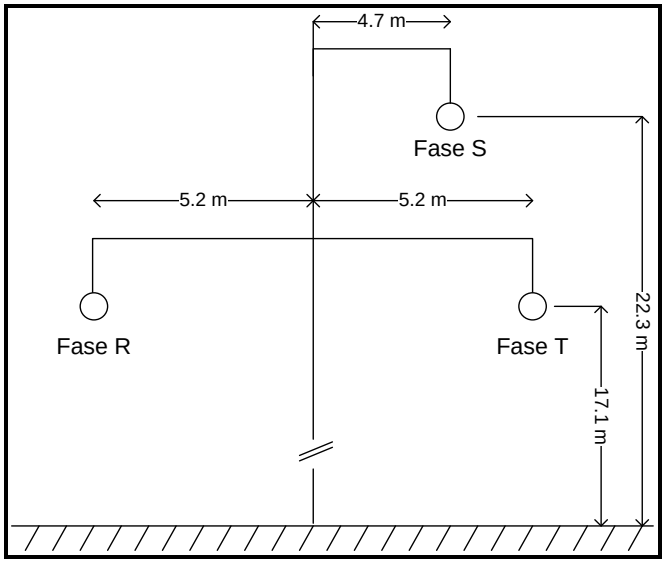
5. CÁLCULO DEL VALOR DE CAMPO ELECTRTICO

5.1 Resultados

5.1.1 Campo Eléctrico Línea de Transmisión

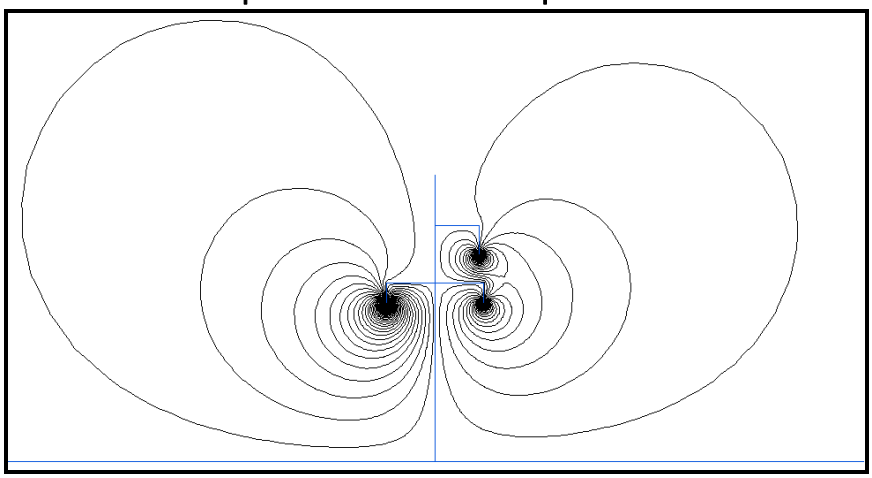
Considerando la torre a potencial cero, una secuencia positiva R-S-T, tensiones máximas de fase y la geometría mostrada en la Figura CE-4, el resultado obtenido se presenta a continuación, apoyado en las Figuras CE-5 y CE-6.La figura CE-5 representa las líneas de campo eléctrico mayores a 1 kV/m generadas por los conductores en la torre, mientras que la Figura CE-6 muestra las intensidades de campo eléctrico graduadas en escala colorimétrica para una mejor interpretación. Todos los valores que superen los 5 KV/m, límite máximo según la normativa Alemana, se han coloreado en tonos rojos. La torre presenta intensidades nulas debido a que se asume aterrizada y por condición de borde su potencial eléctrico es cero.

Figura CE-4: Disposición de Conductores en la Torre S220B y Asignación de Fases



Fuente: Elaboración Propia.

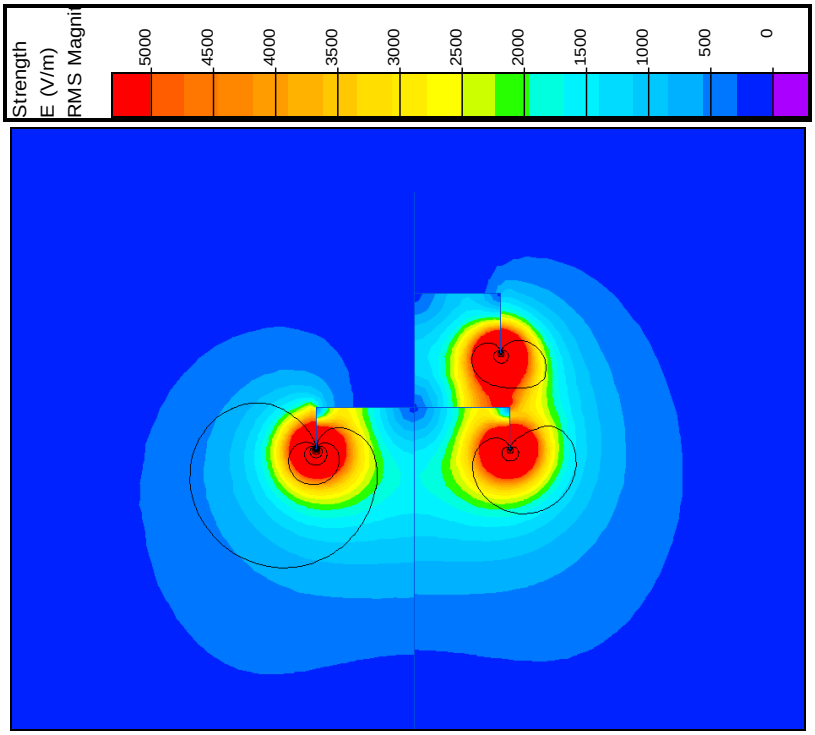
Figura CE-5: Líneas de Campo Eléctrico Generado por los Conductores en la Torre



* Se muestran sólo las líneas de campo mayores a 1 kV/m.

Fuente: Elaboración propia a partir de *Quickfield*

Figura CE-6: Intensidades de Campo Eléctrico Generado por la LdT

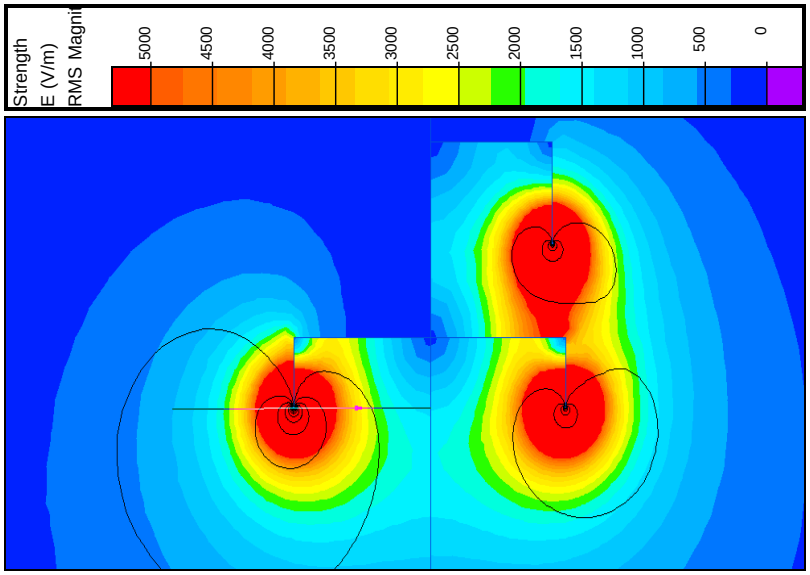


Fuente: Elaboración a partir de *Quickfield*

En la Figura CE-7 se muestra un acercamiento a la zona de mayor intensidad de campo y se muestra la línea de corte transversal a los 17,1 m de altura. Este corte, tal como se muestra en la Figura CE-8 representa que la zona de mayor intensidad tiene un ancho de

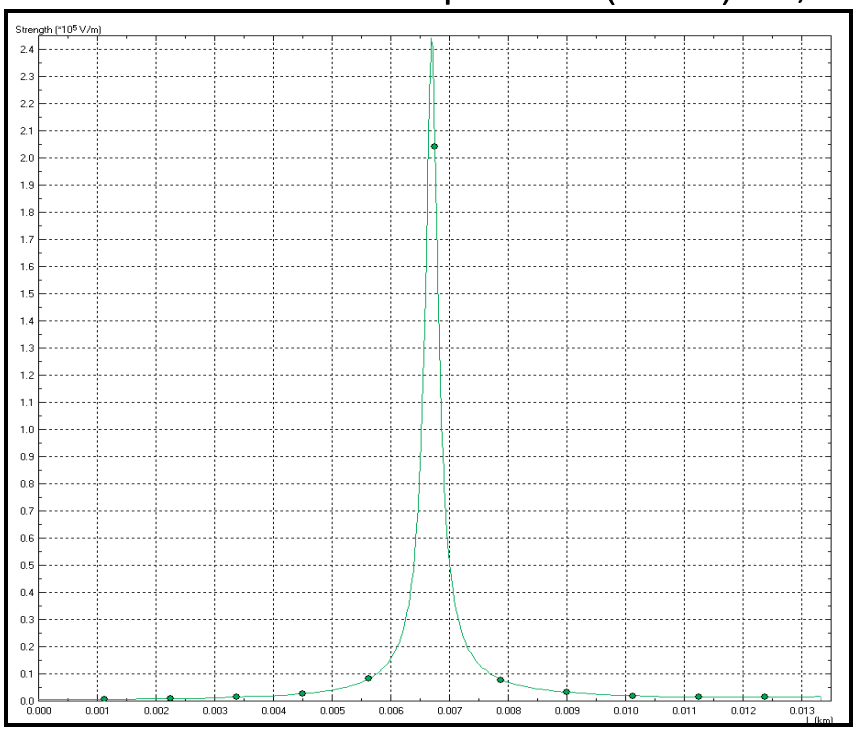
aproximadamente dos metros, con la fase R centrada en ella. Aquí la torre está ubicada en la marca de los 12 m y el conductor con fase R, en los 6,9 m.

Figura CE-7: Línea de Corte Transversal a 17,1 m de Altura



Fuente: Elaboración a partir de *Quickfield*

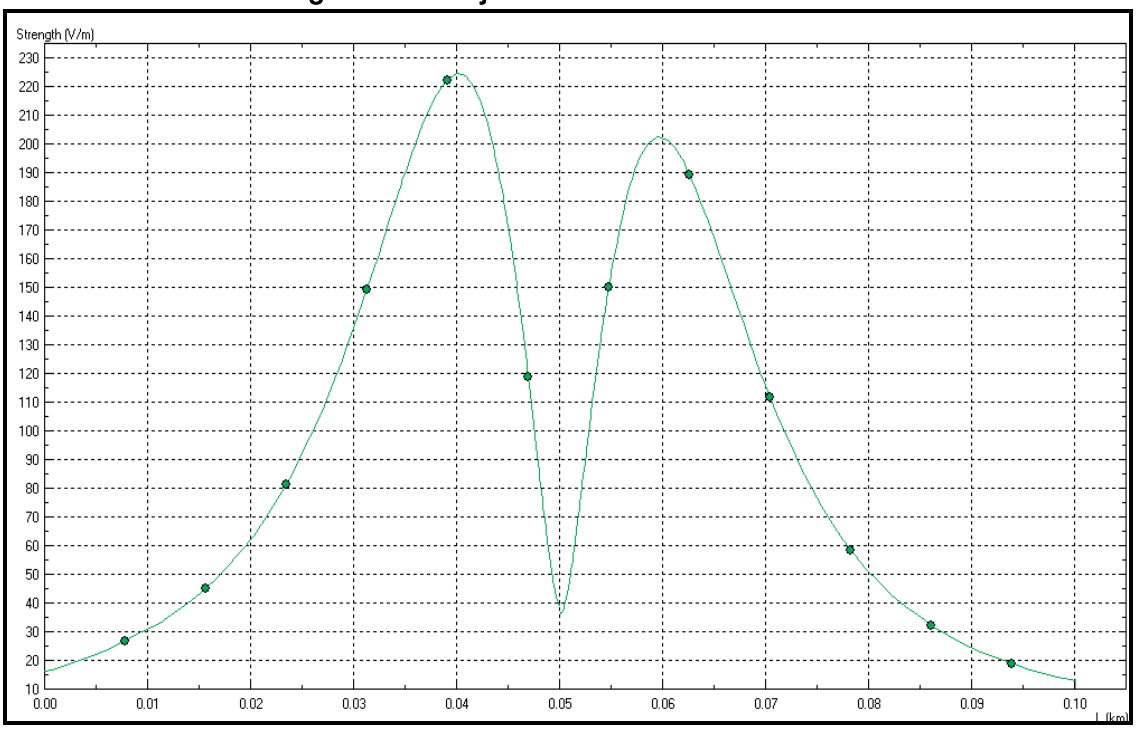
Figura CE-8: Perfil de Intensidades de Campo Eléctrico (*10^3V/m) a 17,1 m de Altura



Fuente: Elaboración a partir de Quickfield.

La Figura CE-9 muestra un perfil de intensidades obtenido al realizar un corte transversal a la altura de 1 m sobre el suelo, mientras que la torre se encuentra ubicada en la marca de los 50 m. En la misma figura se observa que dentro de la franja de servidumbre, que equivale desde la marca de los 25 m a los 75 m, la intensidad de campo más alta alcanza 0,23 kV/m y se encuentra a 10 m de distancia de la torre, por el lado que transporta a la fase R. La normativa más exigente, correspondiente a la de Estados Unidos, señala como máxima exposición 2 kV/m, por lo que las radiaciones se encuentran dentro de lo referencial, para exposición del público general y ocupacional.

Figura CE-9: Perfil de Intensidades de Campo Eléctrico (V/m) a la Altura de 1 m y a lo Largo de la Franja de Servidumbre de la Línea



Fuente: Elaboración a partir de *Quickfield*

Respecto a la LdT de 33 kV que conecta los Aerogeneradores con la Subestación Elevadora, se menciona que, producto de su disposición subterránea y recubrimiento con hormigón se confina sus campos electromagnéticos, pudiendo despreciarlos a cero y eliminando la posibilidad de exposición.

5.1.2 Subestaciones Eléctricas

Debido a que la ingeniería de detalle se encuentra aún en definición a esta altura del proceso de evaluación ambiental, no se dispone de detalles respecto a la naturaleza de aislación de estas estructuras, por lo que el campo eléctrico de las subestaciones resulta

impreciso de calcular. A raíz de lo anterior se ha realizado una revisión de proyectos con características homologables a las del *Parque Eólico Cerro Tigre* presentados y aprobados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, constatando que en escenarios similares el campo eléctrico de las subestaciones alcanza como máximo los 3 kV/m bajo las barras, mientras que en el borde más cercano a la subestación, no sobrepasa los 0,54 kV/m, asumiendo esto como el escenario probable del Proyecto para efectos del proceso de evaluación ambiental. En ambos casos, los valores se encuentran por debajo de la normativa de referencia, cuyos máximos son 5 kV/m en exposición general y 10 kV/m en exposición ocupacional.

6. CÁLCULO DEL VALOR DE CAMPO MAGNÉTICO

6.1 Resultados

6.1.1 Línea de Transmisión Eléctrica

Para este análisis se considera la misma geometría de la figura CE-4 y las densidades de corriente determinadas según la sección transversal del conductor y la línea operando a pleno régimen, como muestra la tabla CE-8.

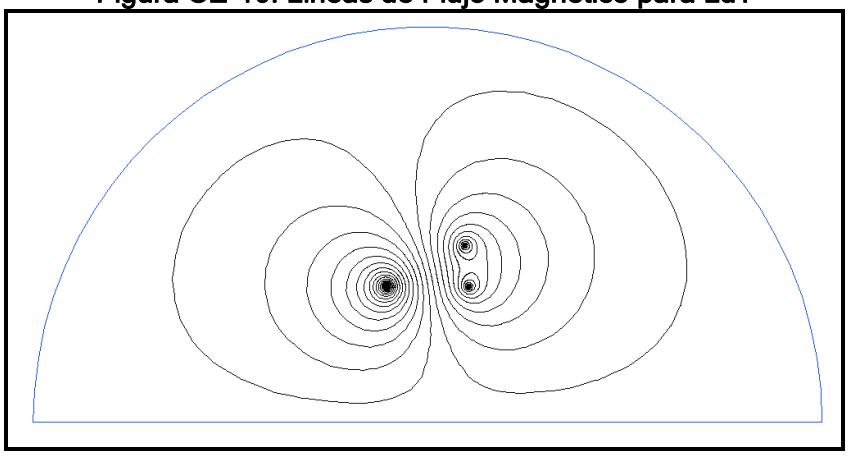
Tabla CE-8: Datos para el Análisis del Campo Magnético en LdT

Sección Transversal del conductor	374.5 mm^2
Densidad de Corriente por fase	606 A/m^2 RMS
Conductividad del Aluminio	37.8 MS/m

Fuente: Elaboración propia.

La figura CE-10 se muestra las líneas de flujo magnético obtenidas a partir de la modelación y simulación con los datos mencionados anteriormente. Se muestran sólo aquellas que están por sobre los 10 uWb/m

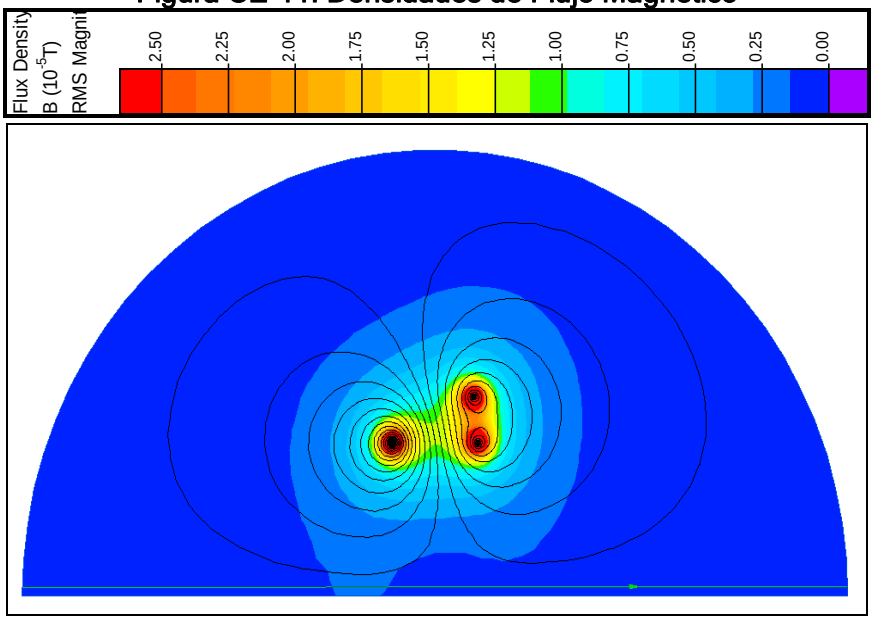
Figura CE-10: Líneas de Flujo Magnético para LdT



Fuente: Elaboración propia a partir de *Quickfield*

En la figura CE-11 se muestra las densidades de campo magnético obtenidas para la línea. La escala colorimétrica asignada colorea en rojo aquellas densidades por sobre los 25 µT

Figura CE-11: Densidades de Flujo Magnético

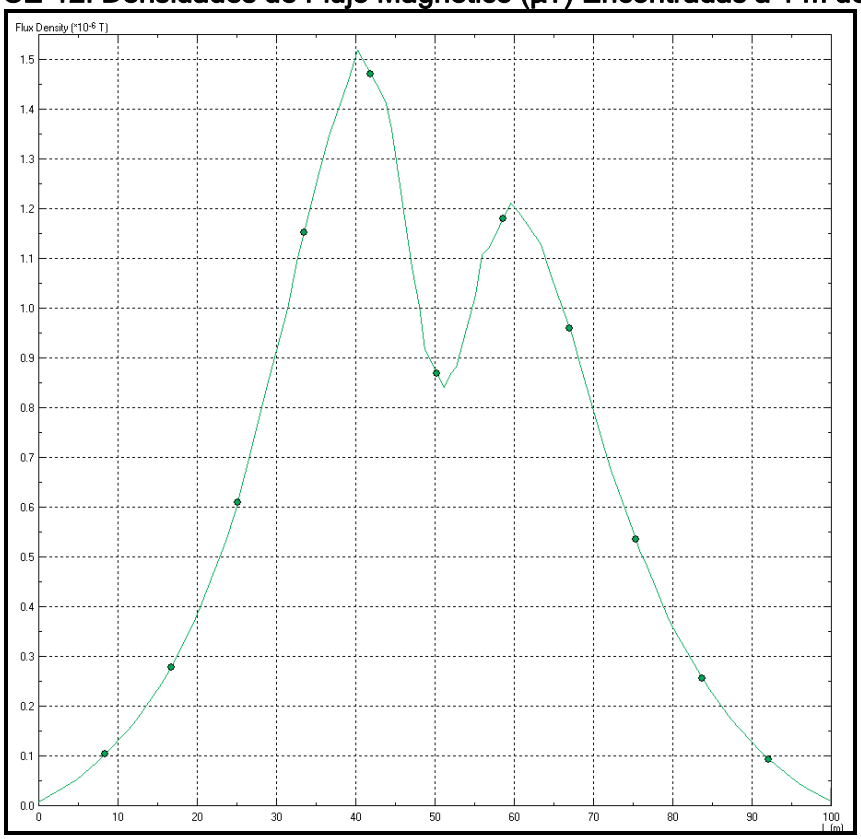


* La línea horizontal en celeste, al pie de la imagen, representa el corte transversal a 1 m de altura

Fuente: Elaboración propia a partir de *Quickfield*

La figura CE-12 muestra una gráfica para las densidades de flujo encontradas en un corte transversal realizado a 1 m sobre el nivel del suelo. La torre se encuentra ubicada en la marca de los 50 m.

Figura CE-12: Densidades de Flujo Magnético (µT) Encontradas a 1 m de altura



*El eje vertical de la torre se encuentra en la marca de 50 m

Fuente: Elaboración propia a partir de Quickfield.

En la Figura CE-12 puede observarse que a lo largo de la franja de servidumbre se encuentra que el máximo valor de las densidades de flujo se ubica a 10 m de la torre, es decir, en la marca 40 m de la gráfica, y corresponde a un valor cercano a los 1.5 uT, que se encuentra dentro de los rangos normativos referenciales para la exposición del público general y ocupacional.

6.1.2 Subestaciones Eléctricas

Debido a que la ingeniería de detalle se encuentra aún en definición a esta altura del proceso de evaluación ambiental, no se dispone de detalles respecto a la naturaleza de aislación de estas estructuras, por lo que el campo magnético de las subestaciones resulta impreciso de calcular. A raíz de lo anterior se ha realizado una revisión de proyectos con características homologables a las del *Parque Eólico Cerro Tigre* presentados y aprobados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, constatando que en escenarios similares el campo magnético en el interior de las subestaciones

alcanza como promedio los 35 µT, mientras que en el borde, 2,25 µT, considerando una altura de 1 m desde el suelo.

Las normativas de referencia indican como máximo un valor de 100 µT para exposición del público en general mientras que para exposición ocupacional lo máximo son 500 µT. Importante destacar que el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica indica como máximo 904 µT y 2710 µT para cada uno de los casos de exposiciones respectivos. Ante esto, los resultados se encuentran dentro de las normativas ejemplificadas.

7. CONCLUSIONES

A partir de lo expuesto recientemente, es posible concluir que considerando las características del Proyecto y los registros de campos electromagnéticos calculados para la Línea de Transmisión del Proyecto, se observa que a lo largo de la franja de servidumbre se encuentra que el máximo valor de las densidades de flujo se ubica a 10 m de la torre y corresponde a un valor cercano a los 1.5 uT, dentro de los rangos normativos referenciales para la exposición del público general y ocupacional.

Siguiendo la misma línea, la revisión de proyectos de características similares ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental dan cuenta que los valores de campos electromagnéticos esperados para las subestaciones del Proyecto también cumplen con los valores máximos indicados en las normativas referenciales.

Respecto al cálculo para confirmar los valores referenciales presentados en este informe y extraídos desde proyectos similares ingresados y aprobados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, en caso de ser necesario es posible realizar una medición y registro real, una vez construidas las instalaciones.