DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

INCORPORACIÓN LÍNEA DE TRANSMISIÓN SE ALFA SOLAR-SE KIMAL 2X220 KV

ESTUDIO CEM

Noviembre 2026

Nelson Morales	**Paulina Brugerolles**	**Fernando Valdés**
ELABORADO POR	**REVISADO POR**	**APROBADO POR**
Especialista CEM	**Jefe de Proyectos**	**Gerente Área de Negocios Ambientales**

INDICE DE CONTENIDOS

2.1. ESTUDIO CEM 5
2.1.1. INTRODUCCIÓN 5
2.1.2. OBJETIVOS 6
2.1.3. METODOLOGÍA 7
2.1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 8
2.1.4.1. Sistema BESS 8
2.1.4.2. Cableado de media tensión 10
2.1.4.3. Subestación Elevadora Alfa Solar 11
2.1.4.4. Línea de transmisión Alfa Solar Kimal 12
2.1.5. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN ALTA TENSIÓN 17
2.1.5.1. Normas de exposición humana a campos electromagnéticos de 50 Hz 18
2.1.6. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO GENERADO POR INSTALACIONES DEL PROYECTO 20
2.1.6.1. Campo Electromagnético generado por Sistema BESS Sur 20
2.1.6.2. Campo electromagnético generado por línea de media tensión 21
2.1.6.3. Campo electromagnético generado por la Subestación Elevadora 23
2.1.6.3.1. Campo electromagnético generado por transformadores 23
2.1.6.3.2. Campo electromagnético generado por barras de la Subestación 25
2.1.6.4. Campo generado por la línea de transmisión de 220kV 28
2.1.6.5. Radio interferencia generada por la línea de transmisión 28
2.1.7. CRUCE LÍNEA DE TRANSMISIÓN DEL PROYECTO CON LÍNEAS EXISTENTES 29
2.1.7.1. Cruce LT Palpana - Crucero 1x220kV, circuito C1 y LT Crucero - Conchi 1x220Kv 30
2.1.7.2. Cruce LT Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV 33
2.1.7.3. Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV 36
2.1.7.4. Cruce LT Central Diesel Tamaya – A 110kV 38
2.1.7.5. Cruce línea Central Diesel Tamaya Salar 1x110kV 41
2.1.7.6. Líneas Encuentro – MMH 1x220kV y Encuentro Tchitack 1x220 KV 44
2.1.7.7. Cruce con línea Kimal Crucero 2x220kV 47
2.1.8. CAMPO EN RECEPTORES 51
2.1.9. SÍNTESIS DE RESULTADOS 52
2.1.10. CONCLUSIÓN 54
2.1.11. REFERENCIAS 55
2.1.12. ANEXOS 56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Proyecto. 6
Figura 2. Equipo de almacenamiento tipo a utilizar en el proyecto. 9
Figura 3. Referencia Equipo de transformación tipo a utilizar en el Proyecto. 10
Figura 4. Esquema sección zanja MT de 6 circuitos. 11
Figura 5. Planta Subestación eléctrica 33/220kV. 12
Figura 6. Estructura de suspensión S220.4 14
Figura 7. Estructura de Anclaje A220.4. 15
Figura 8. Estructura de remate R220.4. 16
Figura 9. Malla de elementos finitos canalización línea de 33kV. 22
Figura 10. Inducción magnética a 1m sobre el suelo en torno a línea subterránea MT. 22
Figura 11. Direcciones de medida del campo en transformador de referencia. 23
Figura 12. Campo eléctrico en torno a transformador de 220 MVA, 240 kV. 24
Figura 13. Inducción magnética en torno a transformador de 220 MVA, 240 kV. 24
Figura 14. Trayectoria para estudio de campo electromagnético generado por barras. 25
Figura 15. Malla de elementos finitos en trayectoria A1 – A2. 26
Figura 16. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo en trayectoria A1 – A2. 27
Figura 17. Inducción magnética a 1m sobre el suelo en trayectoria A1 – A2. 27
Figura 18. Cruce de línea del Proyecto con líneas existentes. 30
Figura 19. Torre Tipo 22AD 31
Figura 20. Malla de elementos finitos, Cruce con LT Palpana - Crucero y LT Crucero – Conchi. . 32
Figura 21. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV. 32
Figura 22. Inducción magnética a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV. 33
Figura 23. Torre línea Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV. 34
Figura 24. Malla de elementos finitos cruce con LT Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV. 35
Figura 25. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV. 35
Figura 26. Inducción magnética a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV. 36
Figura 27. Torre línea Central Tocopilla – A 1x110kV. 36
Figura 28. Malla de elementos finitos Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV. 37
Figura 29. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV 38
Figura 30. Inducción magnética a 1m sobre el suelo Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV 38
Figura 31. Estructura de suspensión línea Central Diesel Tamaya – A 110kV. 39
Figura 32. Malla de elementos finitos en cruce con LT Central Diesel Tamaya A 1x110kV. 40
Figura 33. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya A 1x110kV. 40
Figura 34. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya A 1x110kV. 41
Figura 35. Estructura de suspensión línea Central Diesel Tamaya – Salar 110kV. 42
Figura 36. Malla de elementos finitos en cruce con LT Central Diesel Tamaya – Salar. 43
Figura 37. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya – Salar. 43
Figura 38. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya – Salar. 44
Figura 39. Torre S220.4 Líneas Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack. 45

Figura 40. Malla de elementos finitos en cruce con LT Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack. 46
Figura 41. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack. 46
Figura 42. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack. 47
Figura 43. Torre tipo 22FD ± 0. 48
Figura 44. Malla de elementos finitos en cruce con LT Kimal Crucero 2x220kV. 49
Figura 45. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Kimal Crucero 2x220kV. 49
Figura 46. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Kimal Crucero 2x220kV. 50
Figura 47. Ubicación receptores e instalaciones próximas. 51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características convertidor. 10
Tabla 2. Características transformador. 10
Tabla 3. Ubicación y tipo de estructuras de la línea Alfa Solar Kimal. 13
Tabla 4. Alturas de estructuras según tipo. 17
Tabla 5. Límites internacionales según país para campo eléctrico e inducción magnética. 19
Tabla 6. Límite de interferencias de radio. 20
Tabla 7. Inducción magnética vs distancia a un transformador de 10 MVA. 21
Tabla 8. Datos para la modelación de barras de subestación. 26
Tabla 9. Magnitudes de campo en borde Subestación 27
Tabla 10. Valores de campo en borde de franja de seguridad de la línea. 28
Tabla 11. Magnitudes de radio interferencia. 28
Tabla 12. Datos para líneas Palpana - Crucero 1x220kV y Crucero – Conchi 1x220kV 31
Tabla 13. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 33
Tabla 14. Datos para línea Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV. 34
Tabla 15. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 36
Tabla 16. Datos para Central Tocopilla – A 1x110kV. 37
Tabla 17. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 38
Tabla 18 . Datos para línea Central Diesel Tamaya A 39
Tabla 19. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 41
Tabla 20. Datos para línea Central Diesel Tamaya Salar. 41
Tabla 21. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 44
Tabla 22. Datos para líneas 1x 220kV Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack. 44
Tabla 23. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 47
Tabla 24. Datos para línea Kimal Crucero 2x220kV. 47
Tabla 25. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto 50
Tabla 26. Coordenadas cruce con líneas de telecomunicaciones. 50
Tabla 27. Identificación Receptores y distancia línea del Proyecto 51
Tabla 28. Magnitudes de campo resultantes del estudio. 52
Tabla 29. Magnitud de radio interferencia generada por instalaciones del Proyecto 53

2.1. ESTUDIO CEM

2.1.1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) ingresada al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) por el Titular, el presente informe tiene por objeto presentar la caracterización y evaluación de los campos electromagnéticos asociados a la operación de la infraestructura eléctrica considerada en el proyecto denominado "Incorporación Línea de Transmisión SE Alfa Solar–SE Kimal 2×220 kV" (en adelante, el "Proyecto").

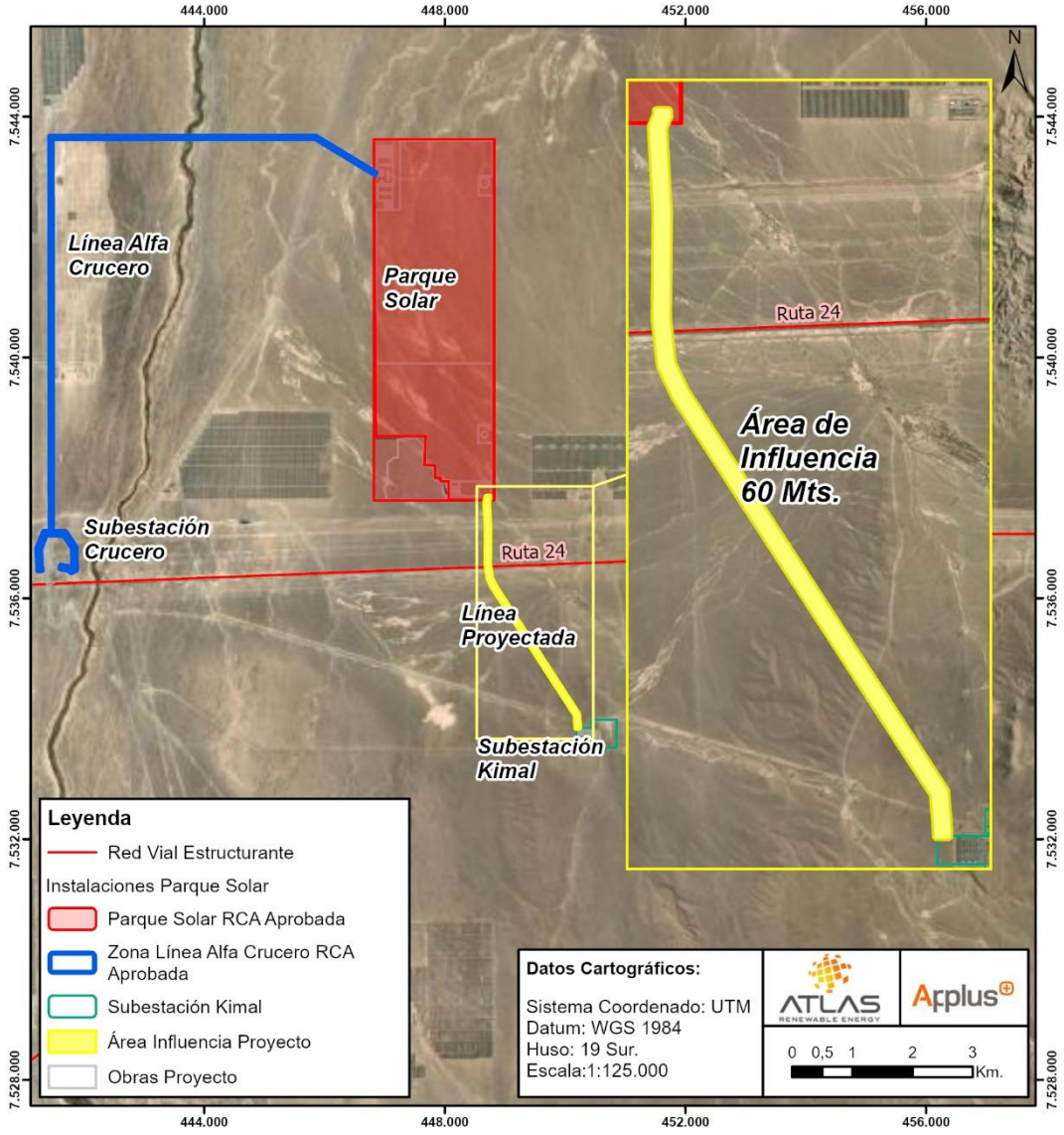
La nueva línea de transmisión tendrá una longitud aproximada de 4,33 km y contará con una configuración de doble circuito en 220 kV, con disposición vertical de los conductores. Esta infraestructura permitirá transportar la energía eléctrica proveniente del Proyecto Parque Fotovoltaico Alfa Solar y aquella gestionada mediante el sistema de almacenamiento BESS hasta la S/E Kimal, desde donde será incorporada al Sistema Eléctrico Nacional.

El Proyecto se emplazará administrativamente en la Región de Antofagasta, provincia de Tocopilla y comuna de María Elena iniciándose en el ML de la S/E Alfa Solar Sur y finalizando en el ML de la S/E Kimal. El acceso al proyecto se realiza por la ruta 24, que une María Elena y Calama.

En este contexto, el presente Estudio de Campos Electromagnéticos (CEM), tiene por finalidad caracterizar y evaluar los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial (50 Hz), así como la radiointerferencia asociada a las instalaciones eléctricas contempladas por el Proyecto durante su fase de operación. El análisis considera el Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías (BESS), el cableado subterráneo de media tensión en 33 kV, la Subestación Elevadora Alfa Solar 33/220 kV y la Línea de Transmisión Alfa Solar–Kimal 2x220 kV. Asimismo, se evalúan los campos electromagnéticos en los cruces de la nueva línea de transmisión con líneas eléctricas existentes y en receptores cercanos, con el objeto de determinar los potenciales efectos acumulativos derivados de la interacción entre instalaciones eléctricas y verificar el cumplimiento de los límites y criterios aplicables para la protección y seguridad de las personas, de acuerdo con la normativa eléctrica vigente y los criterios técnicos establecidos por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) para la evaluación de proyectos de transmisión eléctrica.

La ubicación general del Proyecto, incluyendo las principales instalaciones eléctricas que forman parte de la presente modificación, se presenta en la Figura 1. En ella se identifica el emplazamiento del Proyecto en la comuna de María Elena, Región de Antofagasta, y su relación espacial con la infraestructura eléctrica existente del sector.

Figura 1. Ubicación geográfica del Proyecto.



Fuente: Titular del Proyecto.

2.1.2. OBJETIVOS

Los objetivos específicos de este estudio son:

- Calcular el campo eléctrico y el campo magnético de frecuencia industrial generado durante la operación de la línea aérea de 2x220kV,
- Evaluar la radio interferencia generada por efecto corona en los conductores de la línea aérea,
- Evaluar campo eléctrico y campo magnético en la condición de cruce de la línea del Proyecto con varias líneas de 220kV y de 110 Kv
- Evaluar campo eléctrico y campo magnético en la ubicación de receptores cercanos,

- Concluir respecto del cumplimiento normativo de la línea en operación respecto a los campos electromagnéticos de alta frecuencia, efectos sinérgicos producto del paralelismo de líneas y seguridad para las personas, conforme los criterios del SEA.

2.1.3. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos indicados, se presentan en primer lugar las características del Proyecto pertinentes al presente estudio.

Con el propósito de efectuar una modelación para evaluar el campo eléctrico y el campo magnético en el entorno de la línea de transmisión, se utiliza el software computacional QuickField que aplica el método de elementos finitos [1]. El software utilitario QuickField, es un software de amplia aplicación en varias ramas de la ingeniería, como se pueden observar en la página https://quickfield.info/es/appl.htm; el método es fácilmente adaptable a problemas de campo electromagnético, como también en transmisión de calor, mecánica de fluidos, etc.

En alta tensión, frecuencia 50Hz, el campo eléctrico se resuelve por las mismas metodologías de solución del campo estático, en QuickField existe la opción Electrostatic; el análisis se efectúa en un instante específico en que una fase se encuentra en su valor de voltaje máximo efectivo y, por lo tanto, las otras dos fases se encuentran en el 50% negativo de este valor. En QuickField se tiene la opción de resolver campo magnético variable en el tiempo, (opción AC Magnetics) de modo que las fases se entregan con módulo y ángulo. Las condiciones de borde para el campo eléctrico son voltaje nulo en el contorno externo y en el plano de tierra y para el campo magnético, potencial magnético nulo en el contorno externo.

El Método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos en dos o tres dimensiones. Cuando existe la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica de cálculo. El Método de elementos finitos permite obtener una solución numérica en un medio continuo sobre el que está propuesto, un problema que obedece a ecuaciones diferenciales, fraccionándolo en un número elevado de subdominios denominados “elementos finitos” mediante un “generador de malla” incluido en el software QuickField.

En el caso particular de líneas de transmisión, por su simetría, normalmente se puede limitar el análisis a un plano y se genera esta partición mediante triángulos, cuyo tamaño se adapta a las zonas donde se requiere mayor precisión con elementos de área menor. Normalmente se requiere mayor precisión a nivel del suelo, bajo los conductores, por lo tanto, en dicha zona se densifica los triángulos para discretización del dominio. Este procedimiento permite obtener el campo eléctrico y el campo magnético de baja frecuencia generado en el entorno de los conductores, caracterizado mediante perfiles de campo en un plano transversal a los

conductores y a un metro de altura sobre el nivel del suelo, altura sugerida por normas para evaluar condiciones de seguridad para personas.

Conforme a lo solicitado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, en adelante), se incorpora en el estudio el cálculo de campos en receptores cercanos y en la intersección de la línea, con las siguientes líneas existentes:

- LT Palpana - Crucero 220kV, circuito C1
- LT Crucero - Conchi 220kV
- LT Crucero – Chuquicamata 7B 220kV
- LT Crucero – Est.340 (Salar) 220kV
- LT Central Tocopilla A110 kV
- LT Central Diesel Tamaya – A 1x110kV
- LT Central Diesel Tamaya – Salar 110kV
- LT Encuentro – MMH 220kV
- LT Encuentro – Tchitak 220kV
- LT Kimal – Crucero 220kV

Los valores resultantes de la modelación se confrontan con los límites admisibles de normativas nacionales e internacionales [2], [3] y con los criterios definidos por el SEA respecto a radiación electromagnética y seguridad de las personas [4] y efectos acumulativos [5].

Similarmente, se realiza una estimación del nivel perturbador a frecuencias de radio generado por la línea de transmisión debido al fenómeno corona, en base a expresiones simplificadas de uso habitual [6] y se compara con valores límites establecidos por normativa internacional [7].

2.1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto considera la construcción de una Subestación Elevadora 220/33 kV, destinada a recibir la energía generada por el proyecto Parque Fotovoltaico Alfa Solar, elevar su tensión desde 33 kV a 220 kV e inyectarla al Sistema Eléctrico Nacional, mediante una Línea de Alta Tensión (LAT) Alfa Solar – Kimal, consistente en una línea aérea de doble circuito de 220 kV, con una longitud aproximada de 4,33 km, que conectará la Subestación Elevadora Alfa Solar con la Subestación Kimal. Como parte del proyecto también se incorpora un Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías (BESS), asociado a la planta fotovoltaica Alfa Solar.

2.1.4.1. Sistema BESS

El proyecto incorpora un Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías (BESS), asociado a la planta fotovoltaica, cuya finalidad es almacenar la energía generada para optimizar su despacho al Sistema Eléctrico Nacional, mejorar la flexibilidad operacional de la instalación y aumentar la confiabilidad del suministro eléctrico. El sistema considera módulos de baterías,

inversores, transformadores, sistemas de control, protección, servicios auxiliares y las respectivas obras civiles y eléctricas para su operación.

El Sistema de Almacenamiento de Energía (BESS) localizado al sur del parque tendrá una potencia de 800 MW en el punto de interconexión y una autonomía de 4 horas, equivalente a una capacidad de energía disponible en el POI aproximada de 3.200 MWh y una capacidad nominal instalada referencial de aproximadamente 4.050 MWh. El sistema se conformará a partir de unidades de almacenamiento en contenedor del tipo TrinaStorage Elementa 3 u otro de características similares, de 6,25 MWh (6.250 kWh) de capacidad nominal por unidad, lo que representa del orden de 648 unidades Cada unidad utiliza celdas de litio-ferrofosfato (LFP) de 3,2 V y 587 Ah, con un rango de tensión nominal de 1.123,2–1.497,6 V. La unidad se aloja en un contenedor estándar.

Figura 2. Equipo de almacenamiento tipo a utilizar en el proyecto.



Fuente: Titular del Proyecto.

El centro de transformación consta de un transformador de poder y además albergará el sistema de conversión AC/DC en conjunto de los correspondientes accesorios y su respectivo sistema de proyecciones, las características generales del equipo se muestran a continuación:

Figura 3. Referencia Equipo de transformación tipo a utilizar en el Proyecto.



Fuente: Titular del Proyecto.

Las características del Convertidor en DC son las siguientes:

Tabla 1. Características convertidor.

Max. Voltaje DC	1500 V
Min. Voltaje DC	1050 V
Rango de voltaje DC	1050 A 1500
Max. Corriente DC	1310*2 A
Proyección contra sobretensiones	Tipo II

Fuente: Titular del Proyecto

Y las características del Transformador bidevanado son:

Tabla 2. Características transformador.

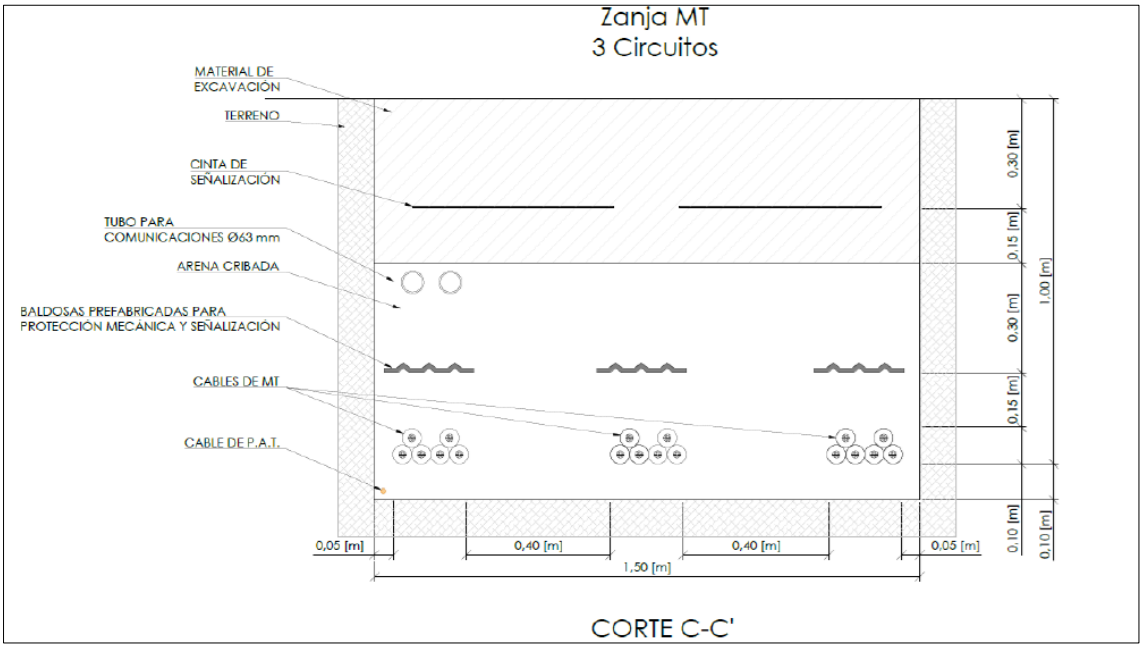
Potencia nominal	10.000 kVA
Lado de Baja Tensión	0,69 kV
Lado de Media Tensión	33 kV
Grupo vectorial	Dy11-y11
Tipo de aceite	Aceite mineral

Fuente: Titular del Proyecto.

2.1.4.2. Cableado de Media Tensión

El cableado de media tensión (MT) corresponde a la evacuación en 33kV desde los MV Skids hacia la red colectora de la planta. Se ha considerado cable unipolar de aluminio con aislamiento XLPE y pantalla metálica (hilos de cobre y cinta de cobre) y cubierta exterior PVC, tensión 20/35kV (Um 36kV) y sección 1x400 mm2. Los circuitos de MT que transportan la energía de un MV skid está formados por un cable por fase de 400mm2, mientras que los circuitos que transportan la energía de dos MV Skids están formados por dos cables por fase de 400mm2. La disposición general del cableado de MT en el entorno del BESS se ejecutará en zanjas como muestra la Figura siguiente.

Figura 4. Esquema sección zanja MT de 6 circuitos.



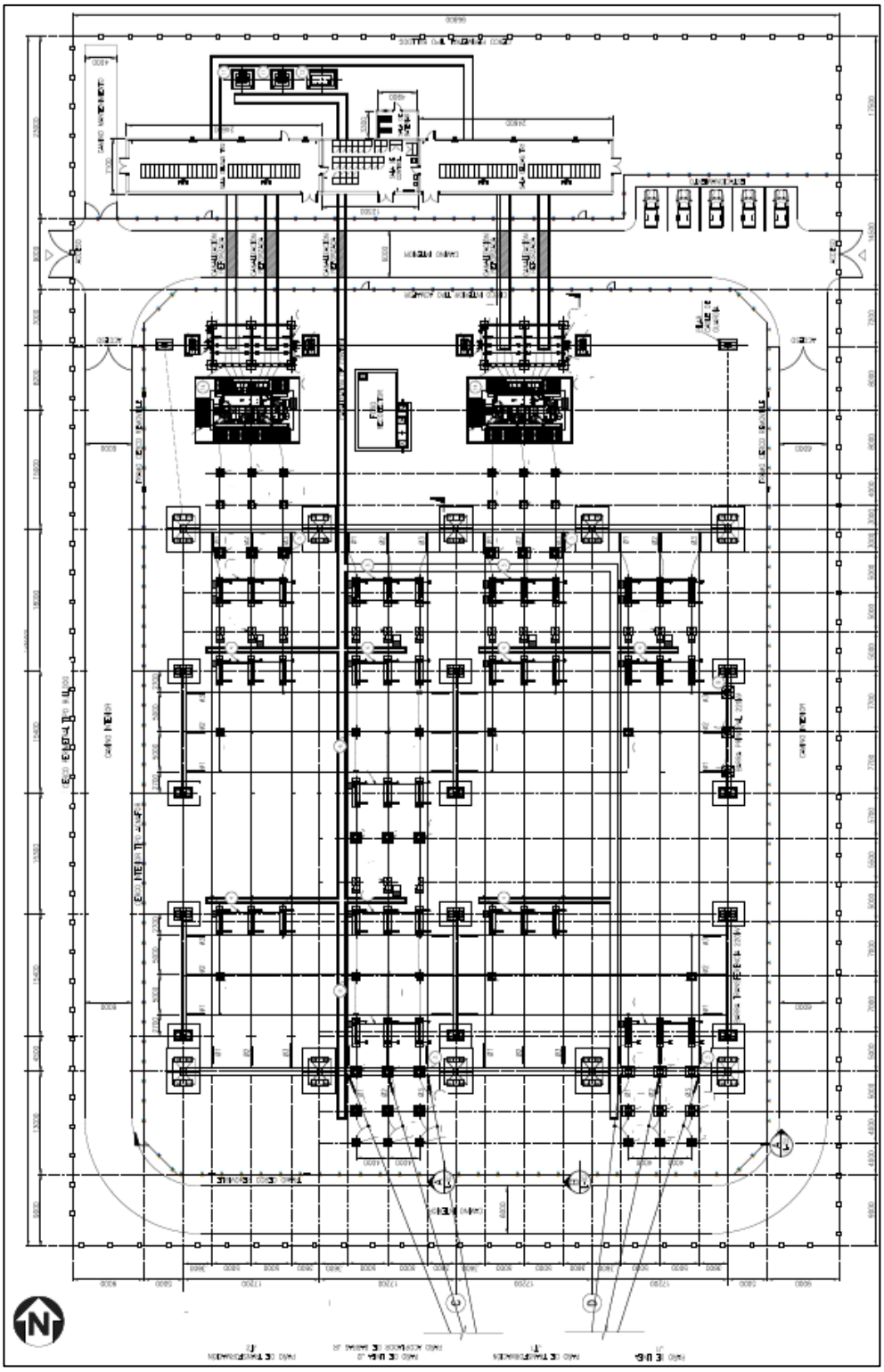
Fuente: Titular del Proyecto.

2.1.4.3. Subestación Elevadora Alfa Solar

El Proyecto contempla la construcción y operación de una Subestación Elevadora (SE) 33/220 kV, destinada a recibir la energía eléctrica generada por la planta solar y elevar su nivel de tensión para su posterior inyección al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). La energía proveniente de la planta será conducida hasta la subestación mediante circuitos de media tensión en 33 kV, desde donde será transformada a 220 kV a través de dos transformadores de 33/220kV y un patio de alta tensión tipo AIS (Air Insulated Substation).

Los transformadores elevadores son de tres enrollados, voltajes 220/33/33kV y potencias 140/190/240 MVA.

Figura 5. Planta Subestación eléctrica 33/220kV.



Fuente: Titular del Proyecto.

2.1.4.4. Línea de Transmisión Alfa Solar Kimal

La línea de transmisión 2x220 kV Alfa Solar – Kimal tiene una longitud aproximada de 4,33 km, que se inicia en el ML de la S/E Alfa Solar Sur en 220 kV. Desde la S/E Alfa Solar el trazado tiene

dirección sur, con diez vértices y siete cruces con diez líneas existentes de distintos niveles de tensión (tres de estos cruces corresponden a líneas diferentes ubicadas en la misma estructura), finalizando en el ML de la S/E Kimal en 220 kV. Todo el trazado de la línea de transmisión se localiza en la comuna de María Elena, región de Antofagasta

La línea se desarrollará mediante estructuras metálicas reticuladas galvanizadas de doble circuito, configuración dúplex y disposición vertical de conductores. La familia considera estructuras de suspensión S220.4, anclaje A220.4 y anclaje/remate R220.4. La ubicación y el tipo de cada una de las estructuras de la línea se indican en la Tabla siguiente.

Tabla 3. Ubicación y tipo de estructuras de la línea Alfa Solar Kimal.

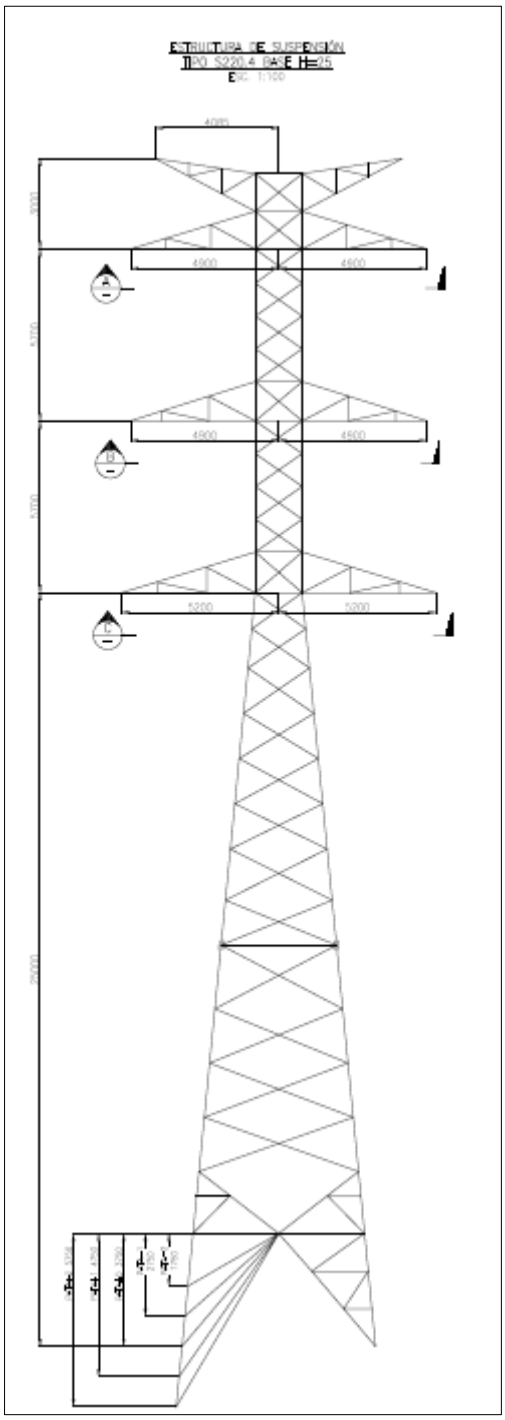
ID Estructura	Vértice	Progresiva [m]	Este [m]	Norte [m]	Cota [m]	Vano adelante [m]	Deflexión [grados]	Tipo de estructura
ML ALFA SOLAR SUR		0,00	448.718,65	7.537.721,18	1.201,74	48,97		ML220
1	VS	48,97	448.720,55	7.537.672,25	1.202,82	71,24	24,41	R220.4 H=25
2	V1	120,21	448.693,65	7.537.606,28	1.203,21	451,95	-25,28	A220.4 H=55
3	V2	572,16	448.718,06	7.537.154,99	1.206,95	395,59	3,56	A220.4 H=58
4		967,75	448.714,88	7.536.759,42	1.208,73	170,67		S220.4 H=61
5	V3	1.138,42	448.713,51	7.536.588,75	1.210,35	245,24	-6,90	A220.4 H=25
6	V4	1.383,66	448.741,01	7.536.345,06	1.210,76	168,24	-19,20	A220.4 H=45
7	V5	1.551,89	448.813,80	7.536.193,39	1.211,97	463,21	-7,37	A220.4 H=45
8		2.015,11	449.066,14	7.535.804,94	1.213,12	353,79		S220.4 H=25
9		2.368,89	449.258,87	7.535.508,26	1.212,71	335,84		S220.4 H=22
10		2.704,73	449.441,82	7.535.226,63	1.215,64	287,01		S220.4 H=22
11		2.991,74	449.598,17	7.534.985,95	1.228,03	364,63		S220.4 H=22
12		3.356,37	449.796,81	7.534.680,18	1.250,62	419,25		S220.4 H=25
13		3.775,62	450.025,21	7.534.328,59	1.249,93	308,59		S220.4 H=25
14	V6	4.084,21	450.193,32	7.534.069,82	1.245,90	202,46	28,50	A220.4 H=48
15	VF	4.286,67	450.209,25	7.533.867,99	1.249,55	47,92	4,20	R220.4 H=45
ML KIMAL		4.334,59	450.209,51	7.533.820,07	1.250,70			ML220

Fuente: Titular del Proyecto.

Las siluetas de cada tipo de estructura se presentan en las Figuras siguientes.

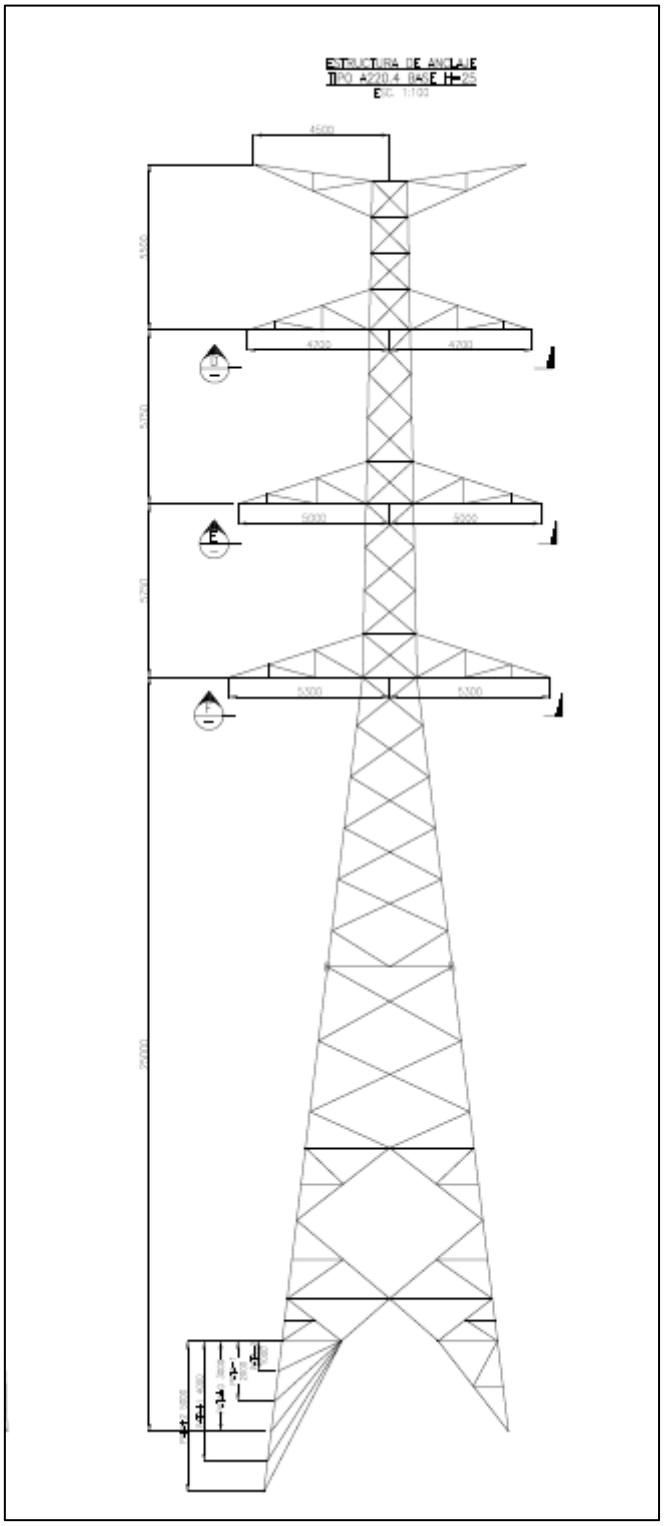
La línea utiliza conductor de fase ACAR 700 MCM compuesto por 18/19 hebras, sección de 354 mm² y diámetro de 24,45 mm. La línea utiliza configuración dúplex, es decir, dos sub conductores por fase; también utiliza doble cable de guardia tipo OPGW y aisladores de vidrio templado tipo antineblina.

Figura 6. Estructura de suspensión S220.4.



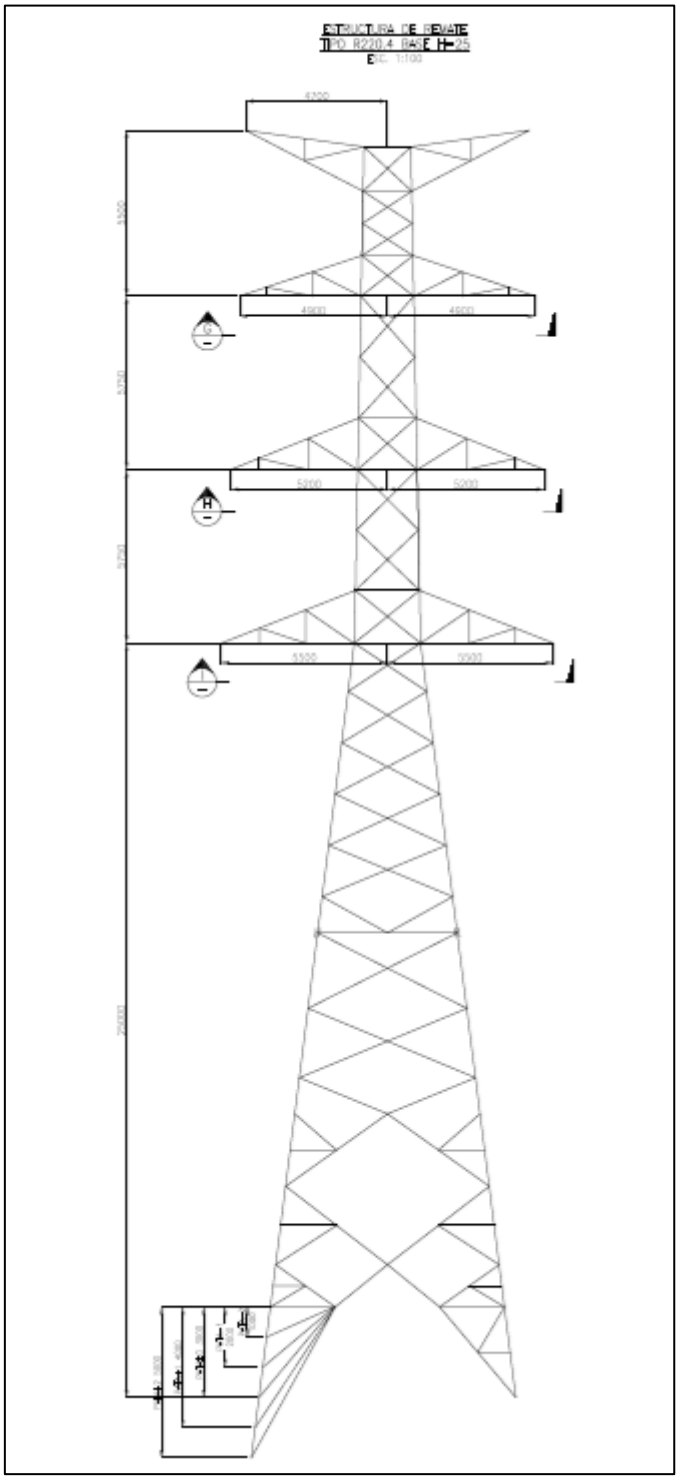
Fuente: Titular del Proyecto.

Figura 7. Estructura de Anclaje A220.4.



Fuente: Titular del Proyecto

Figura 8. Estructura de remate R220.4.



Fuente: Titular del Proyecto.

Las diversas alturas de cada tipo de estructura se presentan en la Tabla siguiente.

Tabla 4. Alturas de estructuras según tipo.

Tipo de torre		Estructura de suspensión	
Denominación	S220.4 H=22	S220.4 H=25	S220.4 H=61
Altura total estructura	36,40 [m]	39,40 [m]	75,40 [m]

Tipo de torre				Estructura de Anclaje	
Denominación	A220.4 H=25	A220.4 H=45	A220.4 H=48	A220.4 H=55	A220.4 H=58
Altura total estructura	42,00 [m]	62,00 [m]	65,00 [m]	72,00 [m]	75,00 [m]
Tipo de torre				**Estructura de anclaje/remate**	
Denominación	R220.4 H=25		R220.4 H=45		

Fuente: Titular del Proyecto.

Se define una franja o servidumbre de 60 m de ancho total, correspondiente a 30 m a cada lado del eje de la línea. El cálculo vano a vano presenta anchos variables de hasta 53,70 m, por lo que se adopta una franja general de 60 m.

2.1.5. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN ALTA TENSIÓN

La unidad del campo eléctrico es el Volt por metro [V/m] o Kilo Volt por metro [kV/m] en alta tensión; es dependiente del voltaje de los conductores, en el caso en estudio, 220 kV entre fases y 220/√3 kV fase a tierra.

El campo magnético se debe a la corriente que circula por los conductores. La magnitud representativa del campo magnético es la "Inducción Magnética" o "Densidad de Flujo Magnético" B**,** que tiene como unidad de medida práctica mili Gauss (1 mG = 10^{-3} Gauss) o micro Tesla (1μT = 10^{-6} Tesla) y se relacionan por: 1 μT = 10 mG.

Para investigar los efectos de los campos electromagnéticos, se caracteriza al campo eléctrico y el campo magnético cerca de una instalación de alta tensión por el concepto "Campo a nivel del suelo", que corresponde al campo eléctrico o campo magnético medido o calculado a 1 metro de altura sobre el suelo, en ausencia de otros objetos.

Se indica a continuación el conjunto de normativas y recomendaciones vigentes en Chile respecto de campo electromagnético y radio interferencia generado por líneas de alta tensión.

2.1.5.1. Normas de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de 50 Hz

En nuestro país no existe reglamentación específica relativa a los valores límites permitidos de exposición de las personas a los campos electromagnéticos de frecuencia industrial. No obstante, la regulación ambiental que rige el tema de emisiones señala que, de no existir una regulación nacional, debe aplicarse como norma de referencia aquella que se encuentre vigente en estados específicos. El Decreto Supremo Nº 40 del Ministerio del Medio Ambiente, promulgado con fecha 30/10/2012, indica en su Artículo 11:

"Artículo 11… Para los efectos de evaluar el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), se considerará lo establecido en las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes en los Estados que señale el reglamento.

La recomendación de referencia de uso más frecuente para público general y exposición permanente es la publicada por la ICNIRP [3], organismo no gubernamental reconocido por la Organización Mundial de la Salud como referente en el tema, que establece 5.000 [V/m] para el campo eléctrico y 200 [micro Tesla] para la inducción magnética, valores que han sido acogidos por la normativa de diversos países incluidos en la nómina anterior.

En el año 2021 se publicó en nuestro país el Pliego Técnico Normativo RPTD N°07, [2] dictado por Resolución Exenta Nº 33.277, de fecha 10/09/2020, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, que en su Artículo 4.7 establece:

"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 [micro Tesla] para campo magnético (valor rms)."

En junio de 2023, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) publicó el documento "Criterio de evaluación en el SEIA: Evaluación de impactos por radiación electromagnética en proyectos de transmisión eléctrica", [4] en el cual considera los valores recomendados por la ICNIRP u otra normativa elaborada en función de estos mismos estándares y entrega la Tabla 2 del documento, que se reproduce a continuación, con la siguiente información:

Tabla 5. Límites internacionales según país para campo eléctrico e inducción magnética.

País	Nombre	Campo Eléctrico (kV/m)	Densidad de Flujo Magnético (μT)
Consejo de Unión Europea	Directive 2004/40/EC	5	100
Argentina	Resolución Sec. Energía 77/1998	3	25
España	Real Decreto 1066/2001	5	100
Italia	Decreto Presidencial del Consejo de Ministros, 23 de abril de 2002	5	100
Reino Unido	National Radiological Protection Board UK 2004	5	100
Suiza	Ordenanza 814.710, febrero 2000	5	100

Fuente: Tabla N°2 del Reglamento del SEIA.

Este documento requiere también evaluar el campo en la ubicación de receptores cercanos y el efecto sinérgico de los proyectos, en su interacción con otros proyectos existentes, aclarando que, para la evaluación de la radiación electromagnética emitida por un conjunto de proyectos de transmisión eléctrica o subestaciones, se entenderá el concepto de "impacto acumulativo" por sobre el de "efecto sinérgico".

En noviembre de 2024 el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) publicó el documento "Criterio de evaluación en el SEIA: Metodologías para la consideración de los impactos acumulativos y sinérgicos" [5], con el propósito de explicar y relacionar técnicamente los conceptos efecto sinérgico, impacto sinérgico e impacto acumulativo, así como también, establecer una metodología general.

5.2 Límites de radio interferencia provocada por instalaciones de alta tensión

En Chile no existe una normativa específica que establezca límite a las interferencias electromagnéticas generadas por líneas de transmisión. A nivel internacional existen normativas que establecen límites para fuentes de carácter general, pero la única específica para líneas de transmisión es la Norma Canadiense "Limits and measurement methods of electromagnetic noise from AC power systems, 0.15-30 MHz" [7] publicada en 1984, pero re-confirmada el 2009. Esta norma específica los métodos de medición y valores límites de radio interferencia para líneas y estaciones eléctricas aéreas de corriente alterna con tensiones de distribución y transmisión de hasta 800 kV, definiendo 0,5MHz la frecuencia a la cual se establece los valores límites. Establece como recomendación los siguientes límites de campo electromagnético perturbador de alta frecuencia (radio interferencia) para líneas de transmisión y subestaciones, según su nivel de tensión:

Tabla 6. Límite de interferencias de radio.

Voltaje nominal entre fases (KV)	Nivel de Radio Interferencia (dB/ 1µV/m)
Menos de 70	43
70 – 200	49
200 – 300	53
400 – 600	60
Sobre 600	63

Fuente: Canadian Standards Association, 1984- Reaffirmed 2009

Para líneas de transmisión, los valores indicados son a 15 m de la fase externa y a 0,5 MHz. Para subestaciones, los valores son medidos a 15 m del cerco del recinto de la subestación. Para una línea de transmisión o subestación de 220 kV, el valor límite corresponde a 53 [dB/ 1uV/m]. La Norma se aplica en condiciones meteorológicas favorables, (buen tiempo). Durante períodos de lluvia, nieve o niebla, puede producirse ruido que supere los límites establecidos.

2.1.6. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO GENERADO POR INSTALACIONES DEL PROYECTO

Se presenta a continuación el estudio de campo electromagnético para cada una de las instalaciones descritas.

2.1.6.1. Campo Electromagnético Generado por Sistema BESS Sur

Las baterías en forma individual no generan campo electromagnético importante, pues su generación es en baja tensión y la potencia generada por módulo del orden de kilo Watt; su importancia está en la capacidad de almacenamiento y entrega de energía; conforman un generador distribuido en una gran área, por lo tanto, con reducida densidad de potencia. Los equipos que concentran la potencia en el Sistema BESS Sur corresponden a los centros de transformación.

Los equipos de transformación ocupan conductores con aislación sólida y además se encuentran en un contenedor metálico como muestra la Figura 3; estas características permiten afirmar que el campo eléctrico generado por estos equipos al ambiente es nulo; no obstante, existe campo magnético generado al ambiente debido a la circulación de corriente por los transformadores.

Para obtener una aproximación del campo magnético generado por los Equipos de transformación, se recurre a una información bibliográfica específica aportada por [8], donde se propone una relación simple para el valor efectivo de la inducción magnética en la vecindad de un transformador:

$$B_{rms}(r) = k_{Tr}\, P_N/r^3 \quad [\text{micro Tesla}]$$

P_N: Potencia Nominal del transformador [kVA]
r: Distancia desde el centro del transformador [m]
k_{Tr}: Coeficiente de Campo [ms/A], [Tm^3/VA]
Un valor establecido de k_{Tr} en la misma referencia es: 0,04 Tm^3/kVA.

Esta expresión indica que la densidad de flujo magnético de transformadores decrece rápidamente al alejarse del transformador (relación inversa con la tercera potencia de la distancia). Los Transformadores responsables de elevar la tensión de 33 kV a 220kV, tienen una potencia de 10 MVA como se indica en la Tabla 2. Conforme a la expresión anterior, con un transformador de 10 MVA, la densidad de flujo magnético B a una distancia D desde el centro del transformador es la siguiente:

Tabla 7. Inducción magnética vs distancia a un transformador de 10 MVA.

Distancia D[m]	2	4	6	8	10
Inducción magnética B [micro Tesla]	50	6,25	1,85	0,78	0,40

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se observa que a partir de 8m del transformador de un centro de transformación, la inducción magnética se reduce a un valor inferior a 1,0 [micro Tesla], por lo tanto, el área de influencia para el campo magnético de estos transformadores abarca 8m en torno al equipo, no representando impacto ambiental hacia el exterior del área BESS.

2.1.6.2. Campo Electromagnético Generado por Línea de Media Tensión

El cableado de media tensión (MT) permite la evacuación en 33kV desde los MV Skids hacia la red colectora de la planta, mediante un cable unipolar de aluminio de sección 1x400 mm^2, con aislamiento XLPE, pantalla metálica y cubierta exterior PVC; la pantalla metálica concentra el campo eléctrico al interior, evitando la emisión de campo eléctrico y radio interferencia al exterior del cable.

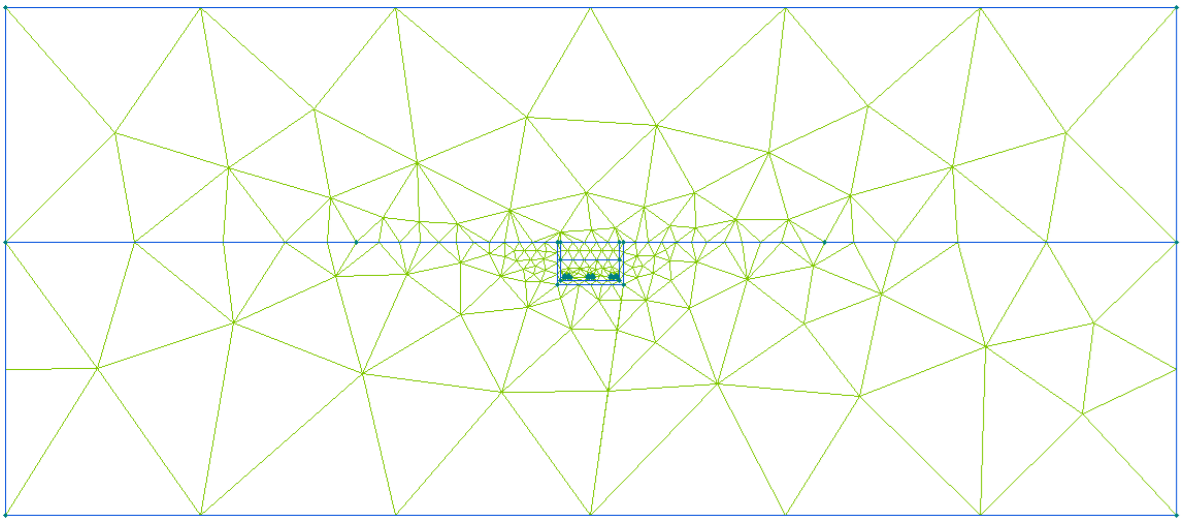
Sólo se emite campo magnético fuera de los conductores hacia el terreno y el ambiente, el cual se evalúa con apoyo del software QuickField. Se analiza la situación más exigente, con dos cables por fase en zanjas como muestra la Figura 4, con 6 circuitos. Considerando una potencia de 240 MVA, la corriente en el sistema de 33kV será 4.200 Amperes; por cada circuito circulará 700 Amperes.

Los datos de entrada, numerados los conductores en cada circuito en el sentido de los punteros del reloj, de izquierda a derecha, son:

Fase 1: 700 Amperes por conductor; fase 0°
Fase 2: 700 Amperes por conductor; fase -120°
Fase 3: 700 Amperes por conductor; fase 120°

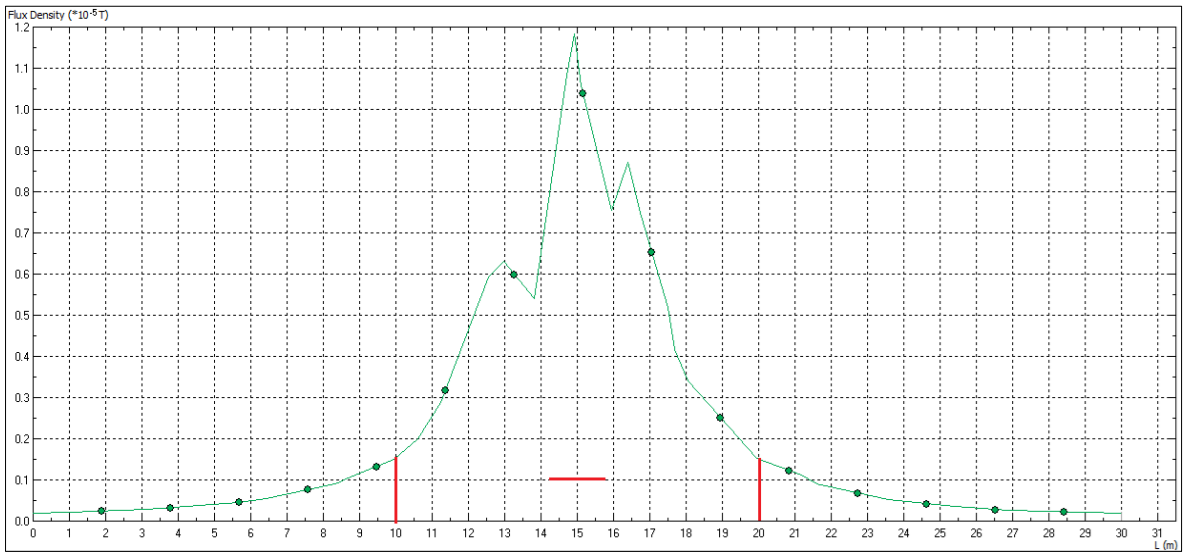
A continuación, se presenta la malla de elementos finitos y el gráfico de inducción magnética hasta 15m a cada lado de la canalización.

Figura 9. Malla de elementos finitos canalización línea de 33kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 10. Inducción magnética a 1m sobre el suelo en torno a línea subterránea MT.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Considerando una franja de seguridad de ancho 5m a cada lado del eje de la canalización, la inducción magnética en el borde de la franja es 1,52[micro Tesla].

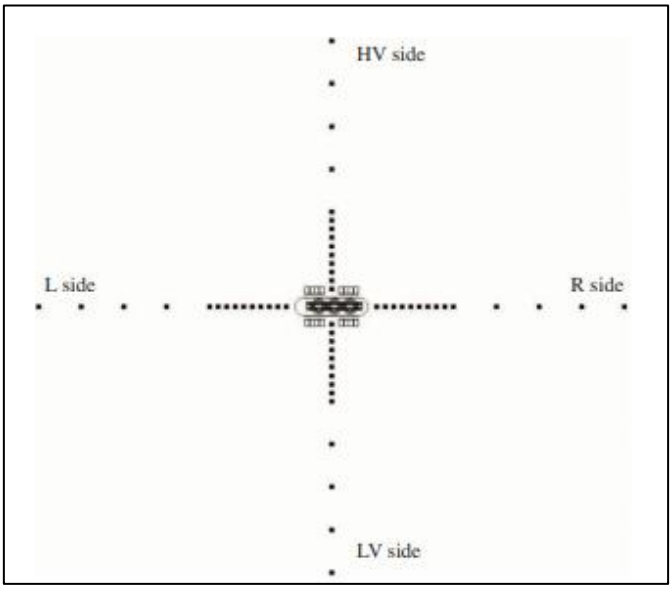
2.1.6.3. Campo Electromagnético Generado por la Subestación Elevadora

La subestación elevadora incorpora dos fuentes de campos electromagnéticos: los transformadores y las barras del patio de 220kV.

2.1.6.3.1. Campo Electromagnético Generado por Transformadores

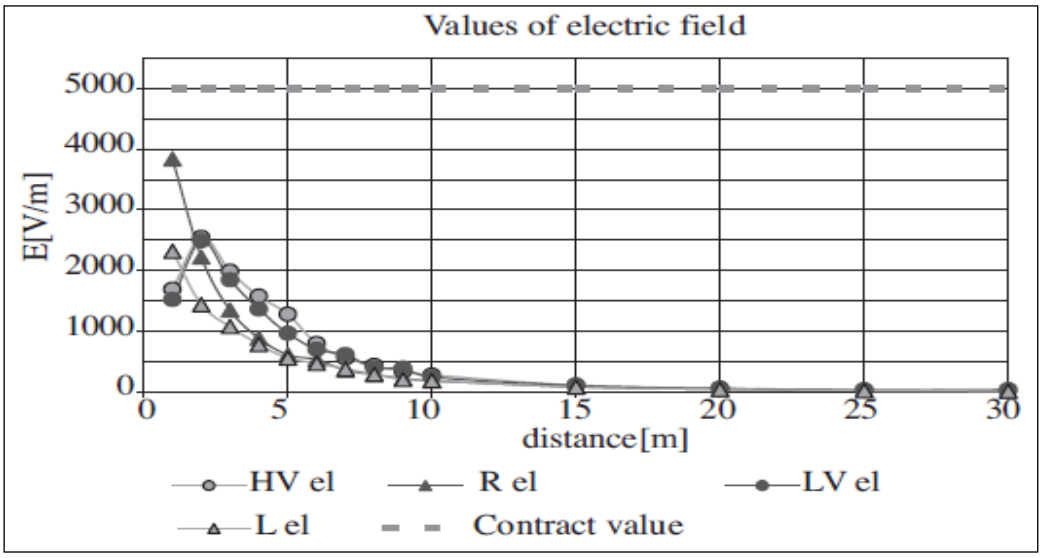
Se incorporan en la subestación dos transformadores de voltajes 220/33/33kV y potencias 140/190/240 MVA. Para estimar el campo electromagnético generado por estos equipos, se recurre a información aportada por la referencia [9], que entrega direcciones de medida y valores medidos de campo eléctrico e inducción magnética en la vecindad de un transformador de 220 MVA, 240 kV: la primera imagen muestra las cuatro direcciones en que se efectuó las mediciones y las siguientes incluyen el gráfico con valores medidos de campo eléctrico e inducción magnética.

Figura 11. Direcciones de medida del campo en transformador de referencia.



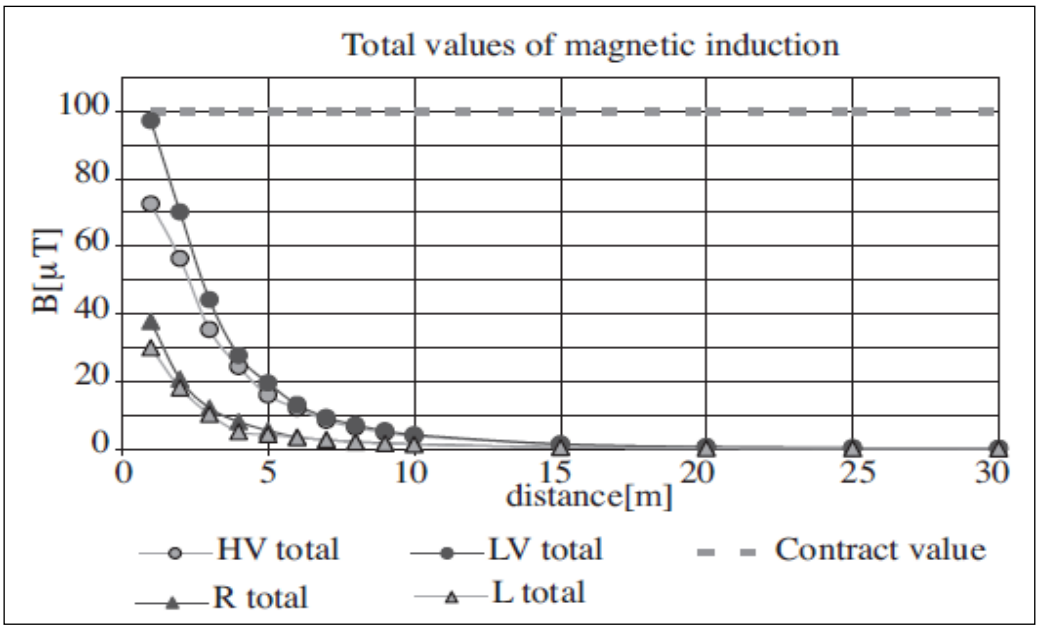
Fuente: Referencia [9], 2009.

Figura 12. Campo eléctrico en torno a transformador de 220 MVA, 240 kV.



Fuente: Referencia [9], 2009.

Figura 13. Inducción magnética en torno a transformador de 220 MVA, 240 kV.



Fuente: Referencia [9], 2009.

De los gráficos se observa que, a pesar de encontrar altos valores de campo eléctrico en la proximidad inmediata a la pared del transformador, sus magnitudes decaen rápidamente con la distancia; del plano de planta de la Subestación se deduce que la distancia aproximada desde el transformador más cercano al borde de la subestación es 17,6m. De la Figura 11 se observa que, a 17 m del equipo, el campo eléctrico es aproximadamente 100 [V/m]. Este resultado es totalmente aplicable al transformador del Proyecto, pues representa un valor conservador, ya que su voltaje de operación es 9% inferior al voltaje del transformador de la referencia.

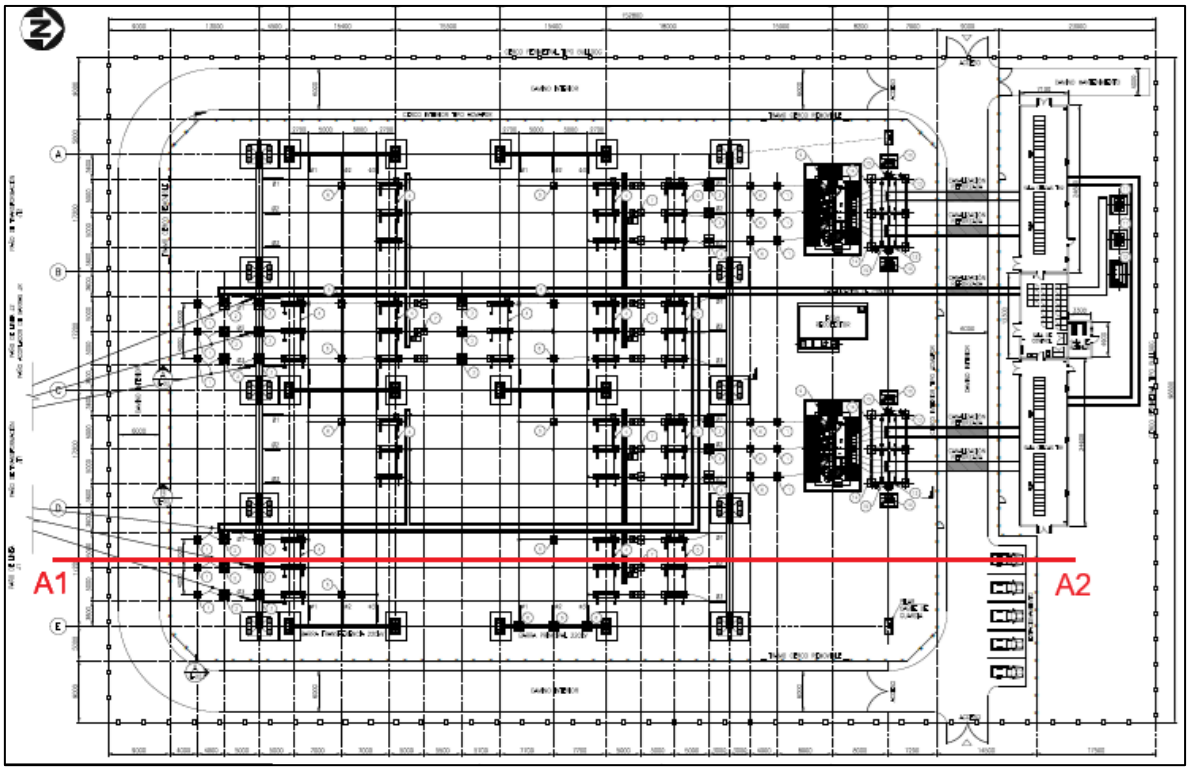
Con respecto al campo magnético, la información igualmente debe ser escalable, pero en sentido inverso, pues la potencia del transformador del Proyecto es 9% superior que la potencia del

transformador de la referencia. De la Figura 11, a una distancia de 17m se obtiene 1,5 [micro Tesla], por lo tanto, se asume 1,64 [micro Tesla] el valor de inducción en el borde de la subestación del Proyecto.

2.1.6.3.2. Campo Electromagnético Generado por Barras de la Subestación

Ocupando la metodología de elementos finitos y el software QuickField, se modelan los conductores de barras de la subestación. El resultado del estudio se presenta en la forma de perfiles de campo evaluados a una altura de 1,0 m sobre el suelo, a través de la trayectoria A1-A2 mostrada en la Figura siguiente, con 5,0m de separación entre fases y 20,7m de separación entre las fases más próximas de cada barra.

Figura 14. Trayectoria para estudio de campo electromagnético generado por barras.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Para el análisis del campo magnético se consideró la potencia máxima de cada transformador 240 MVA, lo que define eventualmente una corriente por fase de 1.260 Amperes. Los parámetros de entrada para evaluar campo eléctrico en los conductores de barra de 220kV son, numerados de izquierda a derecha:

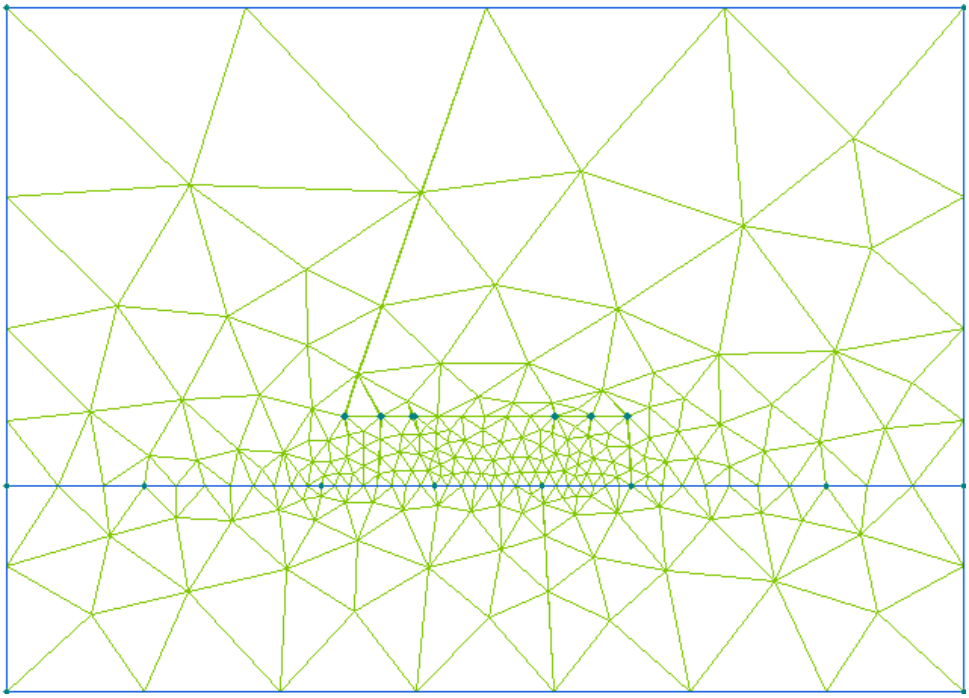
Tabla 8. Datos para la modelación de barras de subestación.

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por subconductor
Fase 1	-63.509 Volts	630 Fase 0°
Fase 2	220.000/√3 = 127.017 Volts	630 Fase -120°
Fase 3	-63.509 Volts	630 fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

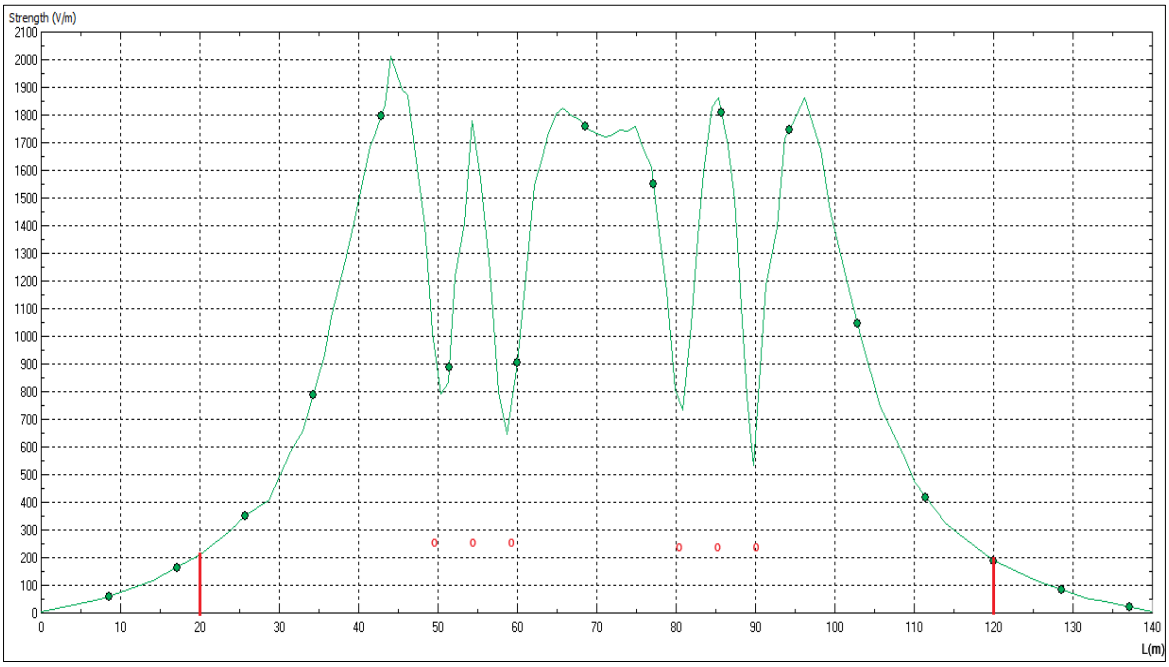
A continuación, se entregan los respectivos gráficos de campos. La línea transversal en la Figura señala el plano de tierra; las líneas rojas en los gráficos indican los bordes de la Subestación; se incluye la ubicación referencial de los conductores de barras.

Figura 15. Malla de elementos finitos en trayectoria A1 – A2.



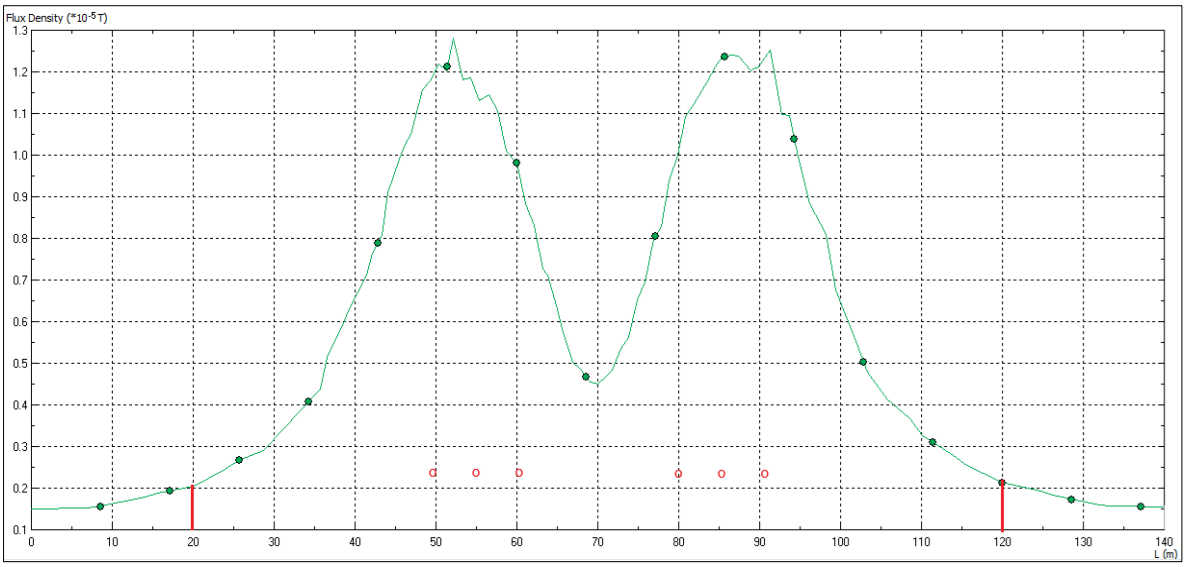
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 16. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo en trayectoria A1 – A2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Inducción magnética a 1m sobre el suelo en trayectoria A1 – A2.



Fuente: Elaboración propia

Las magnitudes de campo resultantes en el borde de la Subestación son las siguientes:

Tabla 9. Magnitudes de campo en borde Subestación

Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
217	2,07

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.6.4. Campo Generado por la Línea de Transmisión de 220kV

En el Apéndice 1 se incluye el análisis de campos electromagnéticos de la línea de 220 kV, ocupando el software utilitario QuickField [1], en dirección transversal a su eje y a un metro de altura sobre el nivel del terreno. En la Tabla siguiente se resume los valores de campo evaluados para la línea en el borde de la franja de seguridad, 30m hacia cada lado del eje; en el caso de estructuras con diferentes alturas, se ha considerado la de menor altura por cuanto la menor altura de conductor determina la condición más desfavorable, es decir, mayor magnitud de campo a nivel del suelo.

Tabla 10. Valores de campo en borde de franja de seguridad de la línea.

Torre tipo	Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
S220.4 H22	298	0,768
A220.4 H25	423	1,288
R220.4 H25	317	0,714

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6.5. Radio Interferencia Generada por la Línea de Transmisión

La descarga corona en líneas de alta tensión corresponde a descargas eléctricas parciales en el aire alrededor de los conductores, generadas por alto campo eléctrico, que provoca ionización del aire. Este fenómeno emite campos electromagnéticos desde frecuencias de audio hasta alta frecuencia que pueden provocar perturbaciones en la banda de frecuencia de radio y televisión.

Mediante la aplicación del software LINEAS, de elaboración propia, se determina el campo eléctrico en la superficie de los conductores y la radio interferencia emitida en las estructuras de la línea; similar al caso del campo electromagnético, se considera para cada tipo de estructura la de menor altura pues representa la perturbación más importante. El programa ocupa el Método de Simulación de Cargas [2] para determinar el campo eléctrico superficial y el procedimiento CIGRE para evaluar nivel de interferencia [2]. En el Apéndice 2 se incorpora el listado de salida del programa, para cada una de las torres analizadas.

La Tabla siguiente resume las magnitudes de radio interferencia calculada para cada una de las estructuras analizadas, a 0,5 MHz y a 15m de distancia lateral desde el conductor externo, según norma canadiense [3], y confrontadas con el valor límite establecido por la norma.

Tabla 11. Magnitudes de radio interferencia.

Torre Tipo	[dB/uV/m]]
S220.4 H22	29,96
A220.4 H25	26,13
R220.4 H25	26,15
Límite norma canadiense	53

Fuente: Elaboración propia

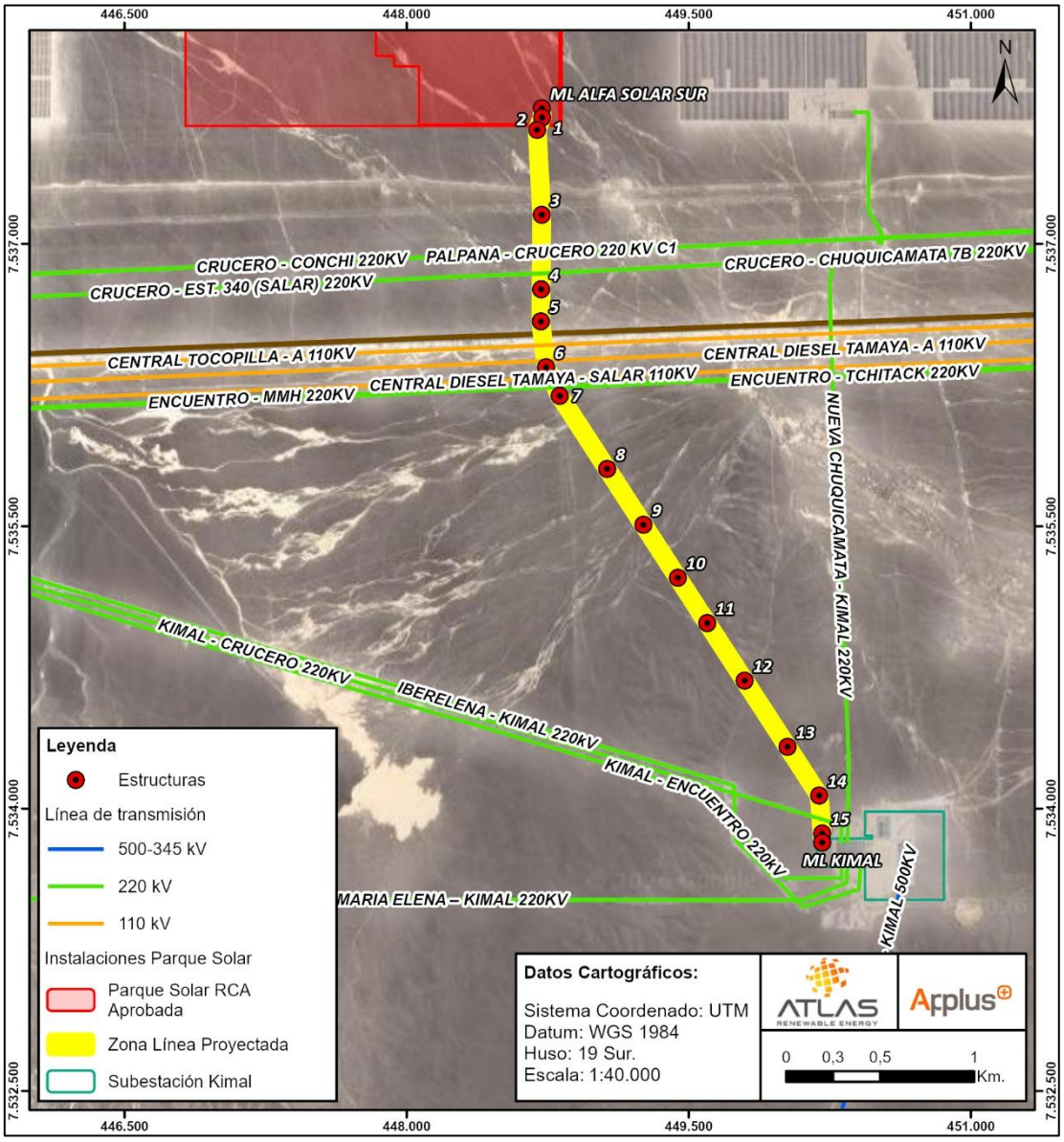
2.1.7. CRUCE LÍNEA DE TRANSMISIÓN DEL PROYECTO CON LÍNEAS EXISTENTES

A través de su trazado, la línea de transmisión del Proyecto presenta cruce con las siguientes líneas existentes:

- Cruce con LT Palpana - Crucero 220kV, circuito C1 y LT Crucero - Conchi 220kV, ambas en la misma estructura
- Cruce con LT Crucero – Chuquicamata 7B 220kV y LT Crucero – Est.340 (Salar) 220kV, ambas en la misma estructura
- Cruce con LT Central Diesel Tamaya – A 1x110kV
- Cruce con LT Central Diesel Tamaya – A 110kV
- Cruce con LT Central Diesel Tamaya – Salar 110kV
- Cruce con LT Encuentro – MMH 220kV y LT Encuentro – Tchitak 220kV, ambas en la misma estructura
- Cruce con LT Kimal – Crucero 220kV

Se visualiza estos cruces en la Figura siguiente:

Figura 18. Cruce de línea del Proyecto con líneas existentes.



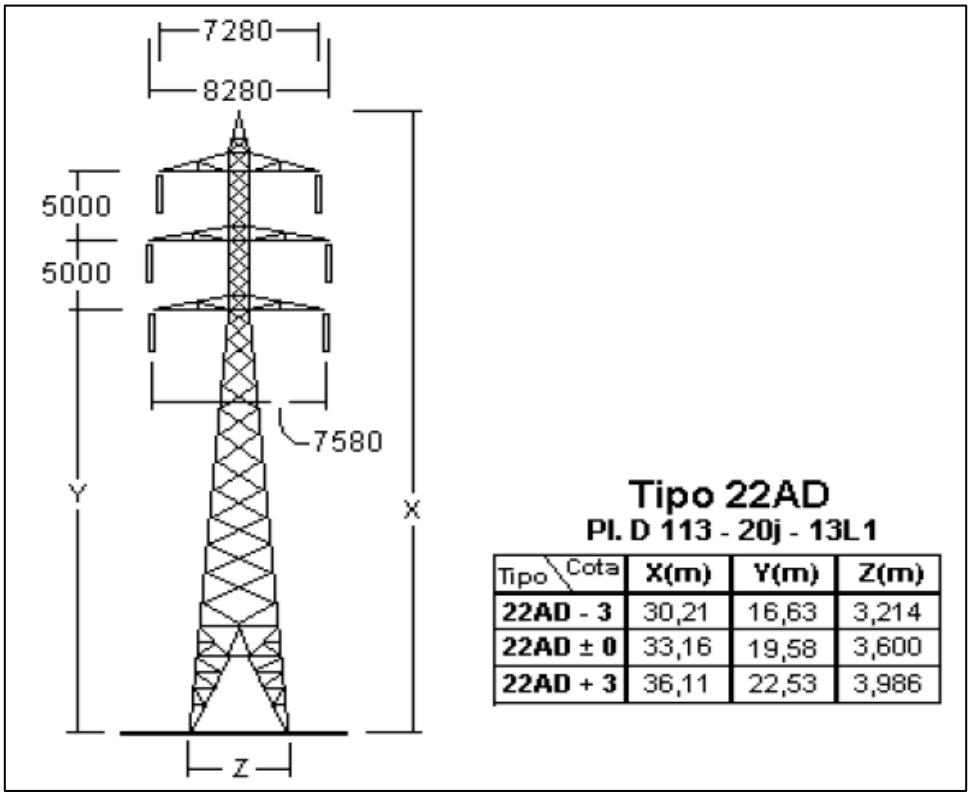
Fuente: Elaboración propia, a partir de la información entregada por el Coordinador Eléctrico Nacional y Titular del Proyecto, 2026.

El análisis de campos en los cruces se realiza igualmente con el software de elementos finitos; en la malla de elementos finitos para cada cruce se ilustran las estructuras de las líneas que participan para visualizar la ubicación de los conductores, pero obviamente las estructuras no se encuentran en el punto de cruce. Se incluyen los gráficos de campos en el punto de cruce y se definen los respectivos valores en los bordes de la franja de seguridad de la línea del Proyecto.

2.1.7.1. Cruce LT Palpana - Crucero 1x220kV, circuito C1 y LT Crucero - Conchi 1x220Kv

La línea del Proyecto se consideró con la estructura A220.4 H 58, conforme lo indicado en la Tabla 3. Las líneas Palpana - Crucero 1x220kV, circuito C1 y - LT Crucero - Conchi 1x220kV utilizan una estructura común cuya silueta se muestra en la Figura siguiente:

Figura 19. Torre Tipo 22AD .



Fuente: Infotécnica Coordinador

La línea Palpana Crucero 1x220kV utiliza conductor Tipo ACAR 1250 MCM, Sección 631.3 mm², diámetro exterior 32.67 mm; se considera una potencia nominal de 243 MVA, lo que define una corriente de 638 Amperes, la cual se aplicará también a la Línea Crucero - Conchi 1x220kV. Se modela la estructura 22AD+3 para estas líneas.

En el análisis de campo se consideró para la línea del proyecto los datos ya indicados anteriormente. Los datos de entrada para las líneas Palpana - Crucero 1x220kV y Crucero – Conchi 1x220kV son los siguientes, numerados los conductores de arriba hacia abajo en el circuito de la izquierda e invertido en el circuito de la derecha:

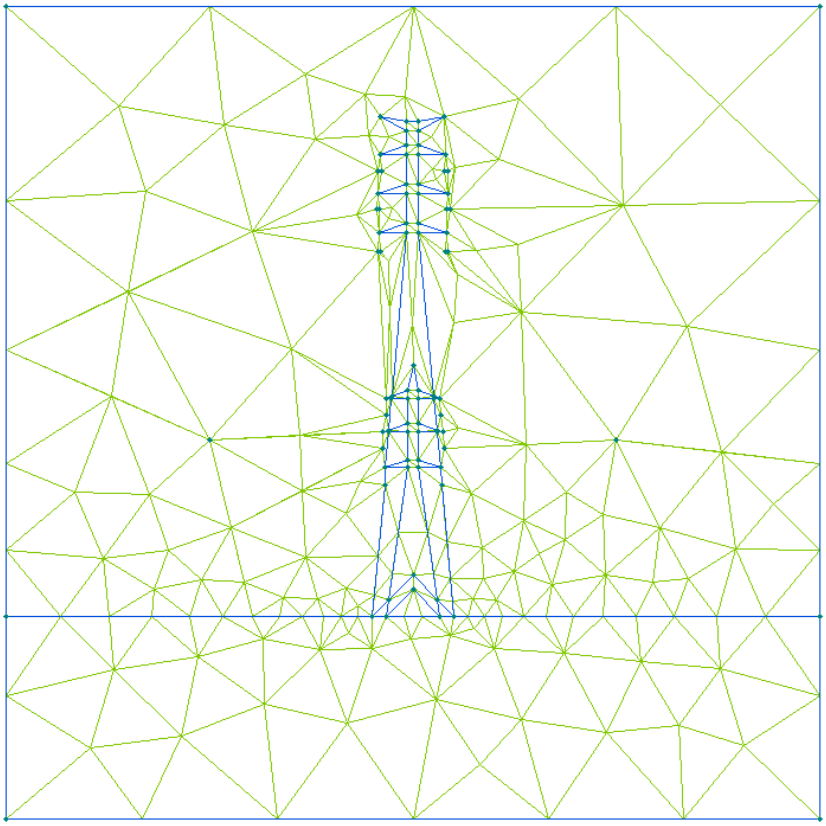
Tabla 12. Datos para líneas Palpana - Crucero 1x220kV y Crucero – Conchi 1x220kV

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por conductor
Fase 1	-63.509 Volts	638 Fase 0°
Fase 2	220.000/√3 = 127.017 Volts	638 Fase -120°
Fase 3	-63.509 Volts	638 fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

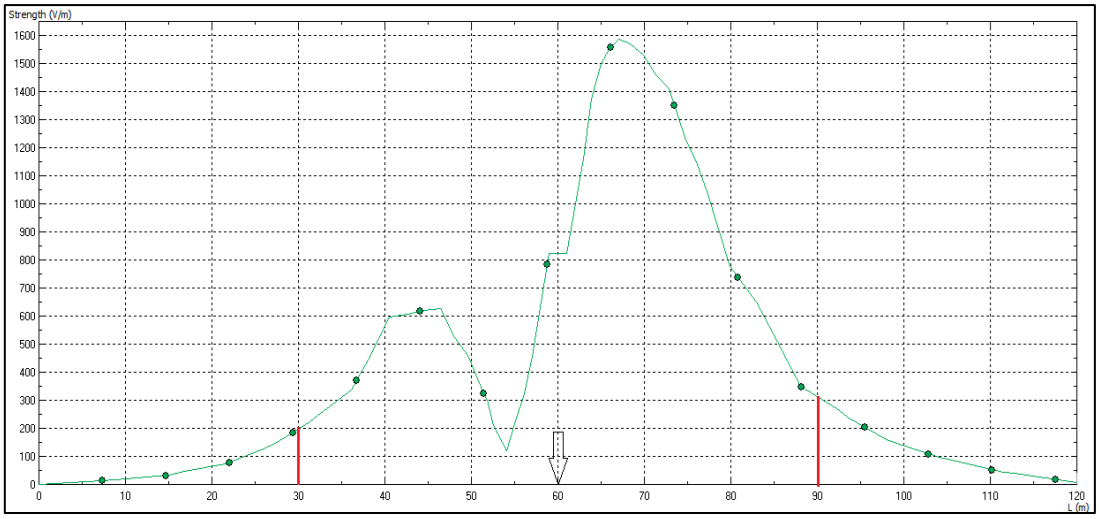
A continuación, se entregan los respectivos gráficos de campos; se ha incorporado en la Figura ambas estructuras para visualizar la ubicación de los conductores, pero obviamente las torres no se ubican en el punto de cruce. La línea transversal en la Figura señala el plano de tierra; las líneas rojas en los gráficos indican los bordes de la línea del Proyecto.

Figura 20. Malla de elementos finitos, Cruce con LT Palpana - Crucero y LT Crucero – Conchi.



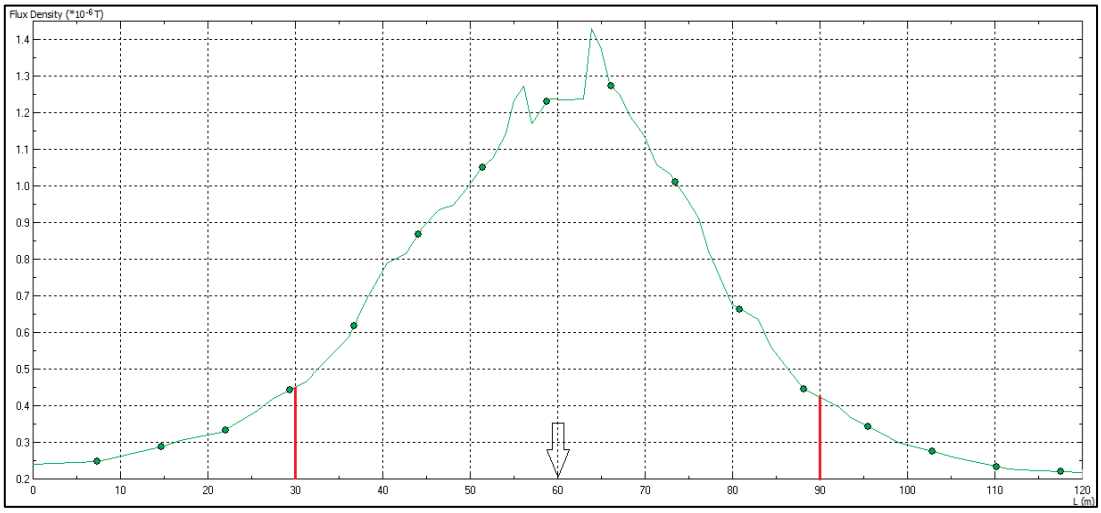
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 21. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 22. Inducción magnética a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Para las líneas Palpana - Crucero y Crucero - Conchi se consideró en su modelación los mismos datos de voltaje y corriente, por lo que las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto se asumen similares para ambas líneas:

Tabla 13. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto

Línea	Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
Palpana - Crucero	313	0,452
Crucero - Conchi	313	0,452

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.7.2. Cruce LT Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV

Ambas líneas utilizan una estructura común que se muestra en la Figura siguiente:

Figura 23. Torre línea Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV.



Fuente: Google Earth

La línea Crucero Est. 340 (Salar) utiliza conductor Coreopsis, diámetro 36,93mm, con una capacidad de 700 Amperes. No se logró ubicar en Infotecnica información para la línea Crucero Chuquicamata, por lo que se asumió la misma información anterior.

Los datos de entrada para evaluar campo eléctrico y campo magnético bajo el punto de cruce son, numerados los conductores de arriba hacia abajo, con el segundo circuito invertido:

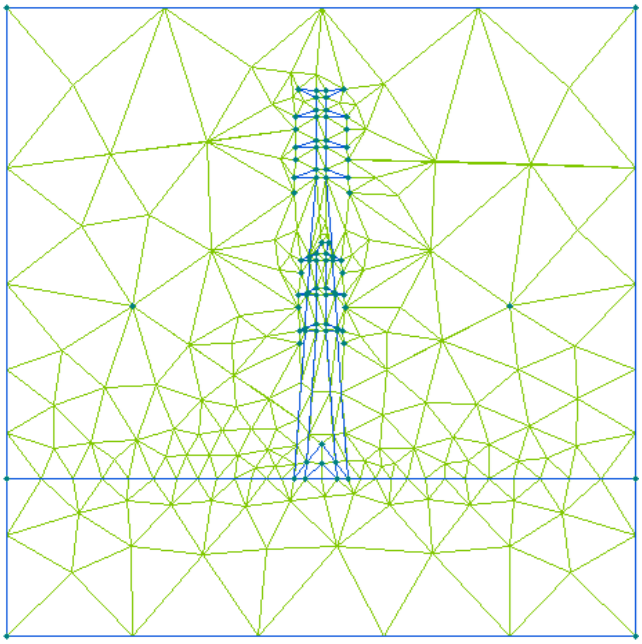
Tabla 14. Datos para línea Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV.

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por conductor
Fase 1	-63.509 Volts	700 Fase 0°
Fase 2	220.000/√3 = 127.017 Volts	700 Fase -120°
Fase 3	-63.509 Volts	700 fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

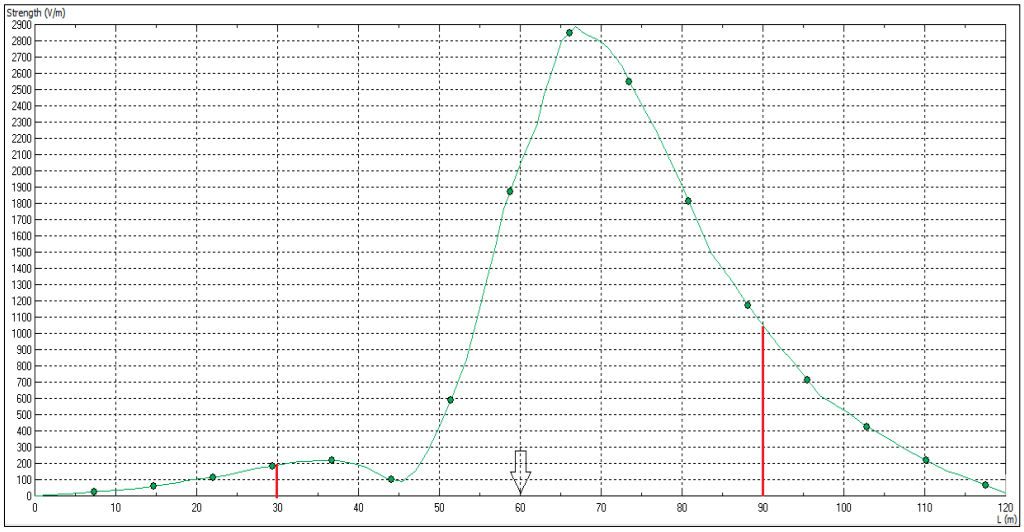
La línea del Proyecto se modeló con la estructura A220.4 H58; se incorporan los respectivos gráficos de campos; en la Figura se muestran ambas estructuras para visualizar la ubicación de los conductores, pero obviamente las torres no se ubican en el punto de cruce. La línea transversal en la Figura señala el plano de tierra; las líneas rojas en los gráficos indican los bordes de la línea del Proyecto.

Figura 24. Malla de elementos finitos cruce con LT Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar) 1x220 kV.



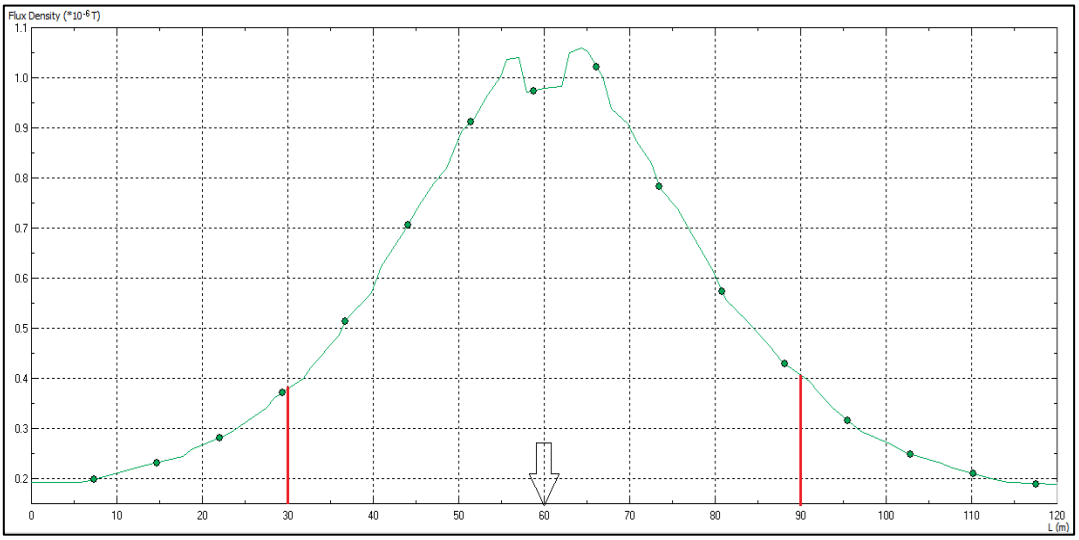
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 25. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 26. Inducción magnética a 1m sobre el suelo bajo punto de cruce 2 líneas 1x220kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026

Las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto son las siguientes:

Tabla 15. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto

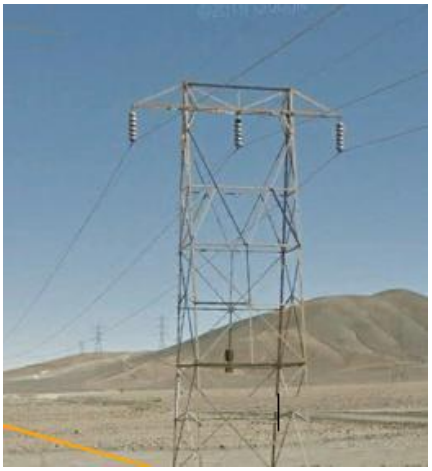
Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
1.047	0,408

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.7.3. Cruce Línea Central Tocopilla – A 1x110kV

La línea Central Diesel Tamaya – A 1x110kV utiliza la estructura de la Figura:

Figura 27. Torre línea Central Tocopilla – A 1x110kV.



Fuente: Google Earth.

No se encontró información en Infotécnica para identificar el conductor utilizado y la corriente o potencia que sirve, por lo que se asume una corriente de 525 Amperes, correspondiente a una potencia de 100MVA. Para la línea del Proyecto se considera la estructura A220.4 H45. Los datos

de entrada para evaluar campo eléctrico y campo magnético bajo el punto de cruce son, numerados los conductores de izquierda a derecha:

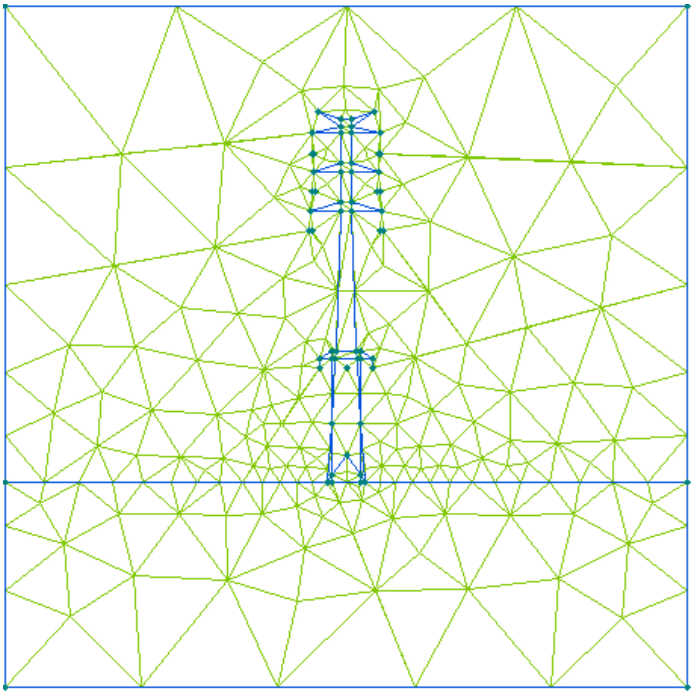
Tabla 16. Datos para Central Tocopilla – A 1x110kV.

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por conductor
Fase 1	-31.754 Volts	525 Fase 0°
Fase 2	110.000/√3 = 63.509 Volts	525 Fase -120°
Fase 3	--31.754 Volts	525 Fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

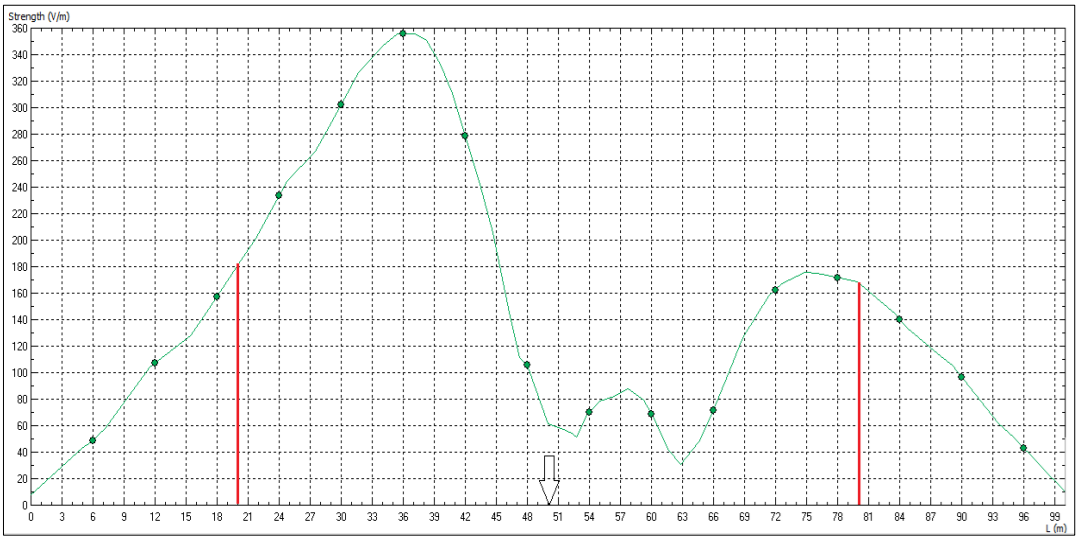
Se incorpora a continuación la malla de elementos finitos y los respectivos gráficos de campo.

Figura 28. Malla de elementos finitos Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV.



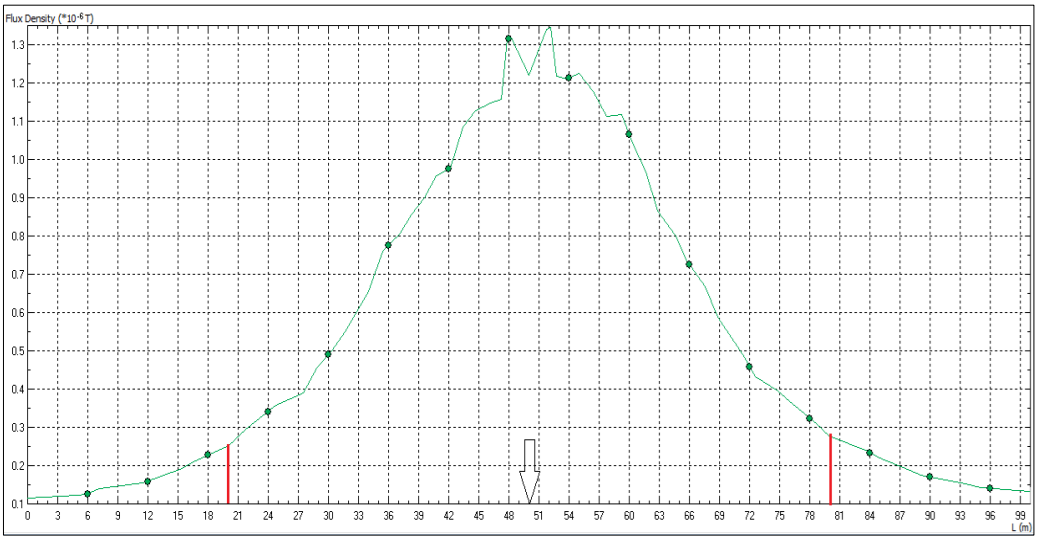
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 29. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 30. Inducción magnética a 1m sobre el suelo Cruce línea Central Tocopilla – A 1x110kV



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto son las siguientes:

Tabla 17. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto

Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
182	0,277

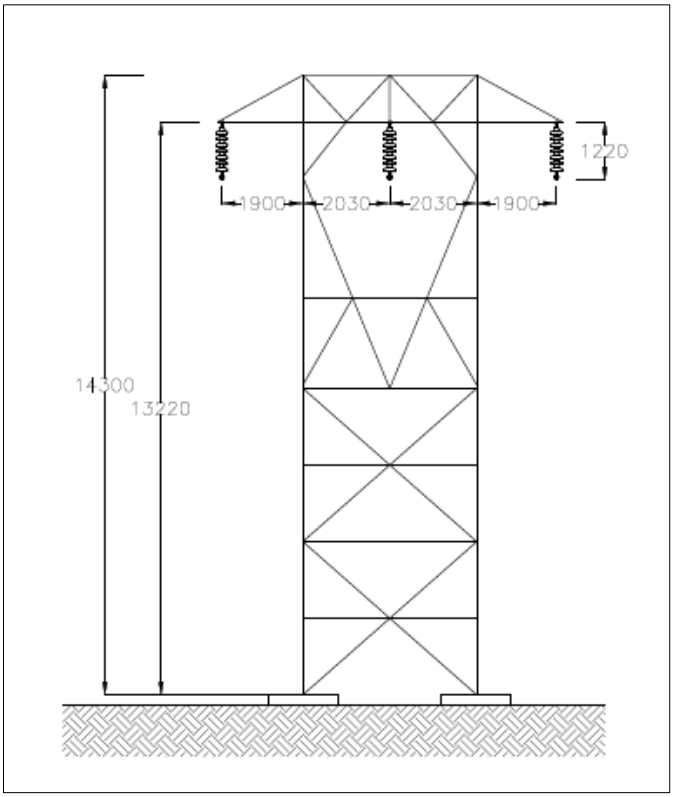
Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.7.4. Cruce LT Central Diesel Tamaya – A 110kV

La línea del Proyecto se modela con la estructura A220.4 H25. La línea Central Diesel Tamaya-A 1x110kV utiliza conductor Dahlia, de sección 282mm2, diámetro 21,71mm, con capacidad

térmica permanente de 670 Amperes. La estructura cerca del punto de cruce es la estructura de suspensión que muestra la Figura siguiente:

Figura 31. Estructura de suspensión línea Central Diesel Tamaya – A 110kV.



Fuente: Infotécnica Coordinador.

Los datos de entrada para evaluar campo eléctrico y campo magnético bajo el punto de cruce son, numerados los conductores de izquierda a derecha:

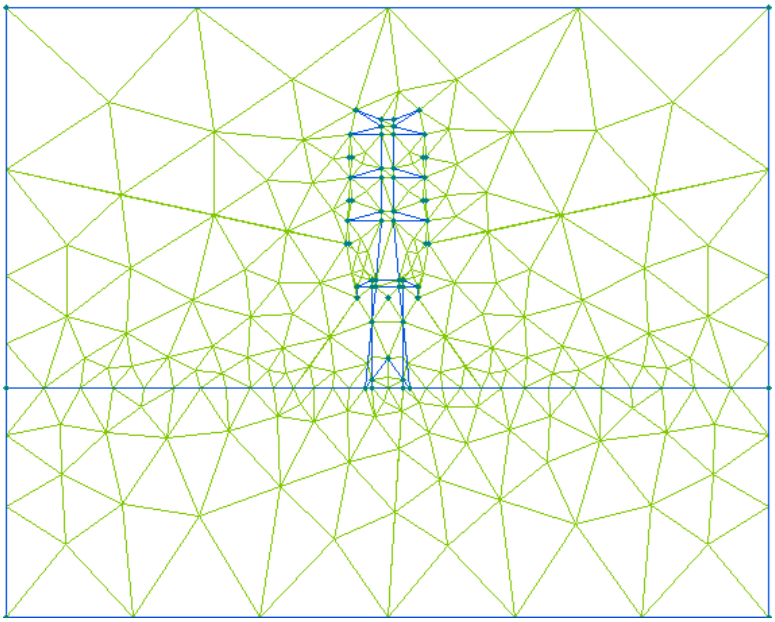
Tabla 18 . Datos para línea Central Diesel Tamaya A

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por conductor
Fase 1	-31.754 Volts	670 Fase 0°
Fase 2	110.000/√3 = 63.509 Volts	670 Fase -120°
Fase 3	--31.754 Volts	670 Fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

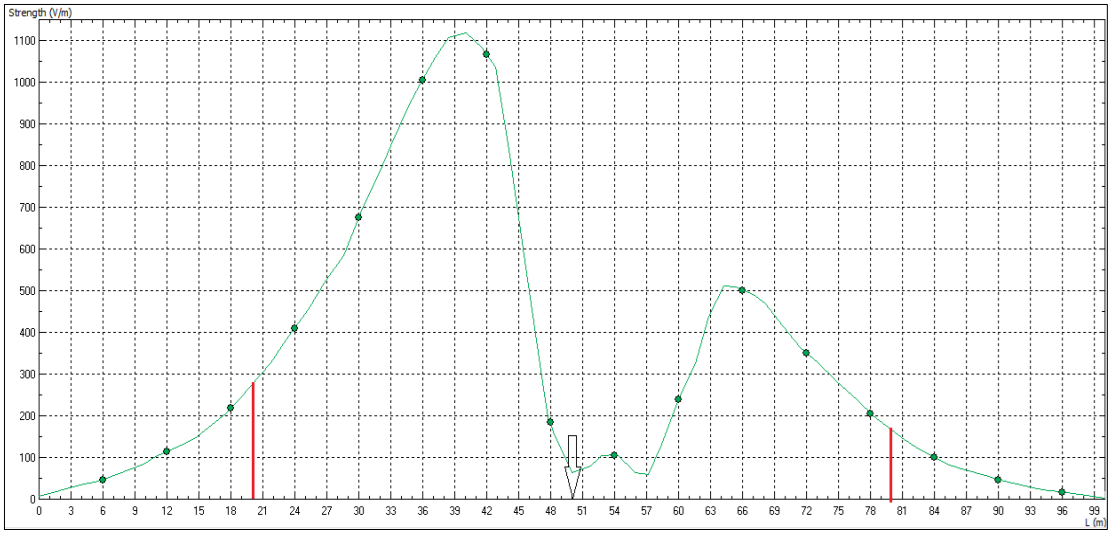
Se incorporan los respectivos gráficos de campos; en la Figura se muestran ambas estructuras para visualizar la ubicación de los conductores, pero obviamente las torres no se ubican en el punto de cruce. La línea transversal en la Figura señala el plano de tierra; las líneas rojas en los gráficos indican los bordes de la línea del Proyecto.

Figura 32. Malla de elementos finitos en cruce con LT Central Diesel Tamaya A 1x110kV.



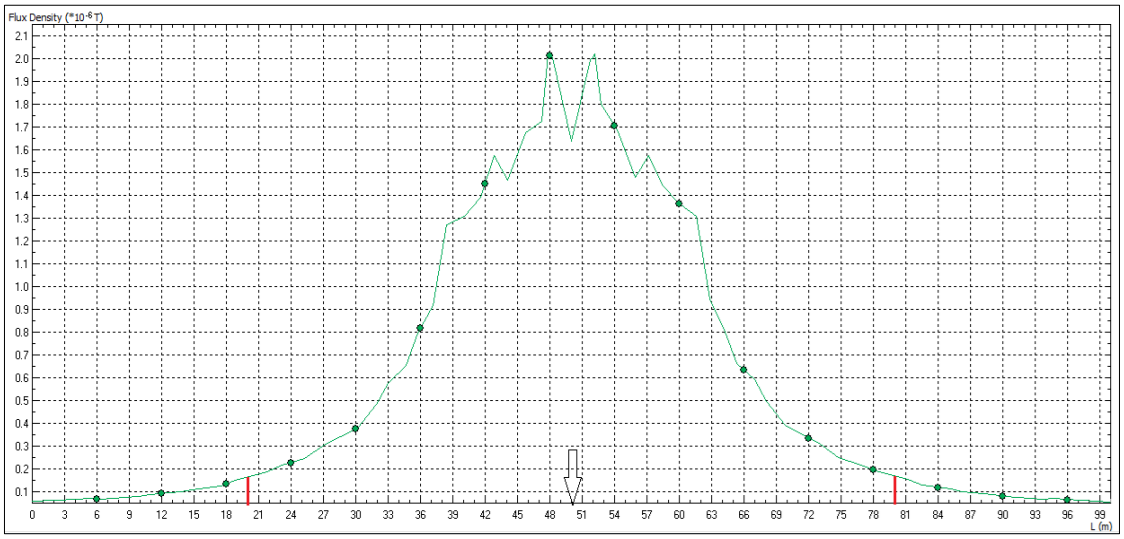
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 33. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya A 1x110kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 34. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya A 1x110kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto son las siguientes:

Tabla 19. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto.

Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
275	0,167

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.7.5. Cruce línea Central Diesel Tamaya Salar 1x110kV

La línea del Proyecto se modela con la estructura A220.4 H45. La línea Central Diesel Tamaya Salar 1x110kV utiliza conductor Dahlia, de sección 282mm2, diámetro 21,71mm, con capacidad térmica permanente de 670 Amperes. Los datos de entrada para evaluar campo eléctrico y campo magnético bajo el punto de cruce son, numerados los conductores de izquierda a derecha en sentido de los punteros del reloj:

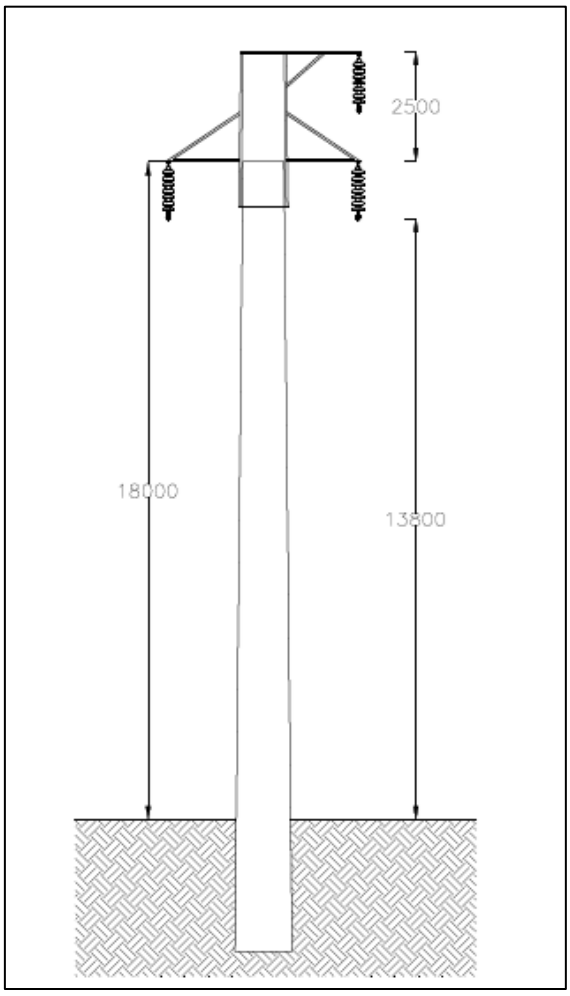
Tabla 20. Datos para línea Central Diesel Tamaya Salar.

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por conductor
Fase 1	-31.754 Volts	670 Fase 0°
Fase 2	110.000/√3 = 63.509 Volts	670 Fase -120°
Fase 3	--31.754 Volts	670 fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La estructura cerca del punto de cruce es la estructura de suspensión que muestra la Figura siguiente:

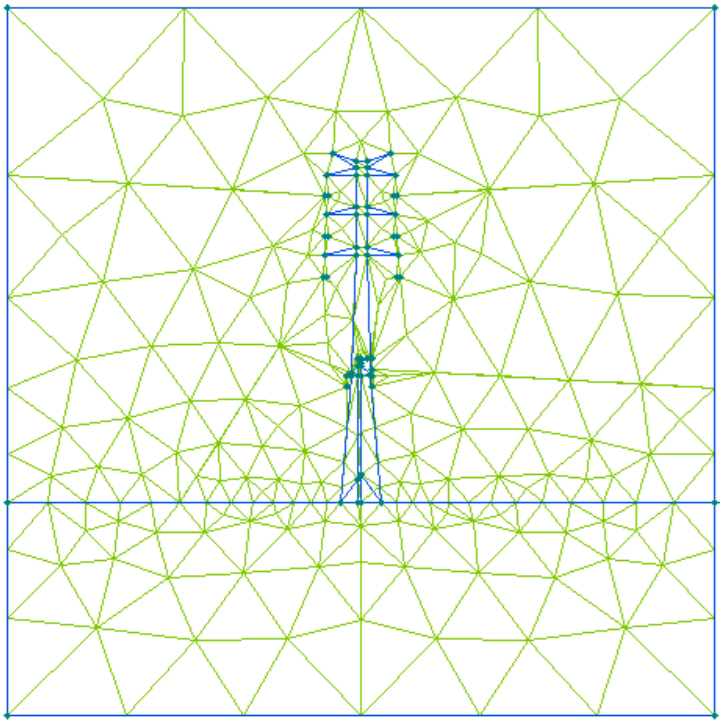
Figura 35. Estructura de suspensión línea Central Diesel Tamaya – Salar 110kV.



Fuente: Infotécnica Coordinador

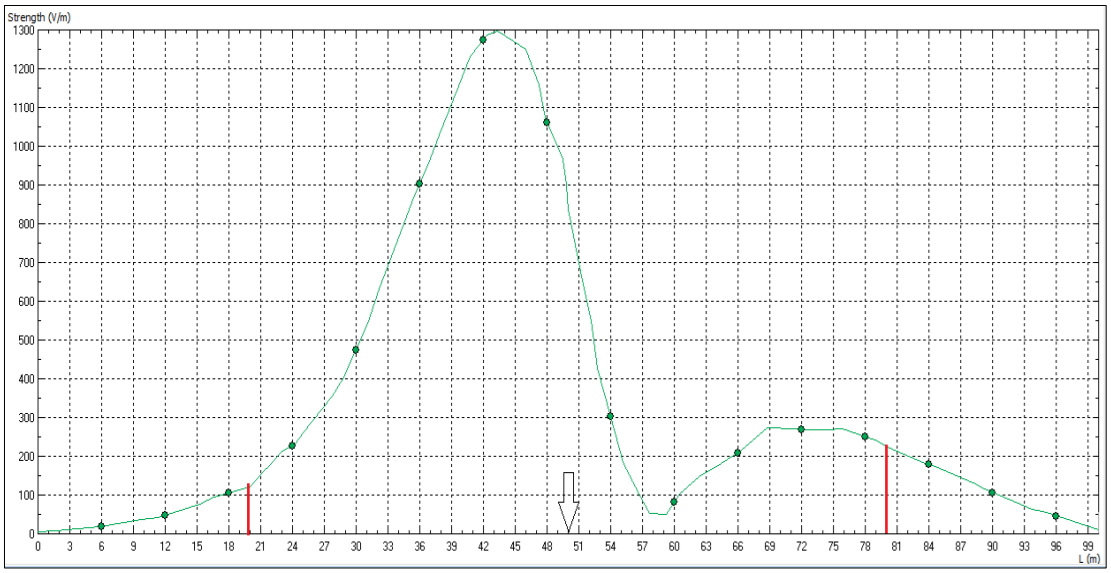
A continuación, se entregan los respectivos gráficos de campos; se ha incorporado en la Figura ambas estructuras para visualizar la ubicación de los conductores, pero obviamente las torres no se ubican en el punto de cruce. La línea transversal en la Figura señala el plano de tierra; las líneas rojas en los gráficos indican los bordes de la línea del Proyecto.

Figura 36. Malla de elementos finitos en cruce con LT Central Diesel Tamaya – Salar.



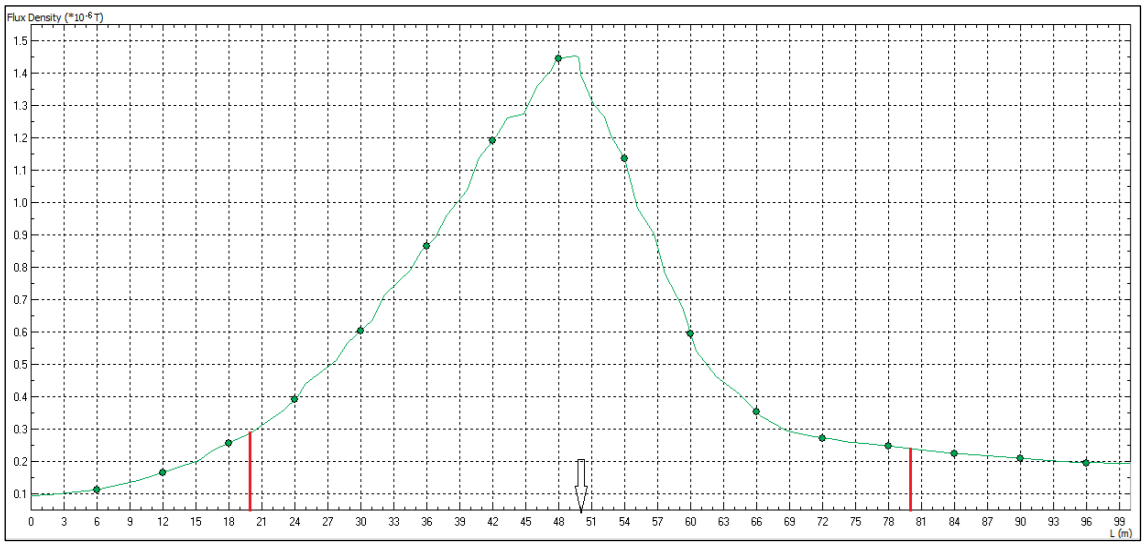
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 37. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya – Salar.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 38. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Central Diesel Tamaya – Salar.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto son las siguientes:

Tabla 21. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto.

Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
226	0,288

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.7.6. Líneas Encuentro – MMH 1x220kV y Encuentro Tchitack 1x220 KV

Ambas líneas utilizan conductor AAAC Greeley, Sección 470 [mm²], Capacidad Nominal, con sol 228 MVA (25 °C), Límite de Transmisión 600 Amperes. La estructura de la línea cerca del punto de cruce es la torre de suspensión S220.4 base H19. Los datos de entrada para evaluar campo eléctrico y campo magnético bajo el punto de cruce son, numerados los conductores de izquierda a derecha en sentido de los punteros del reloj:

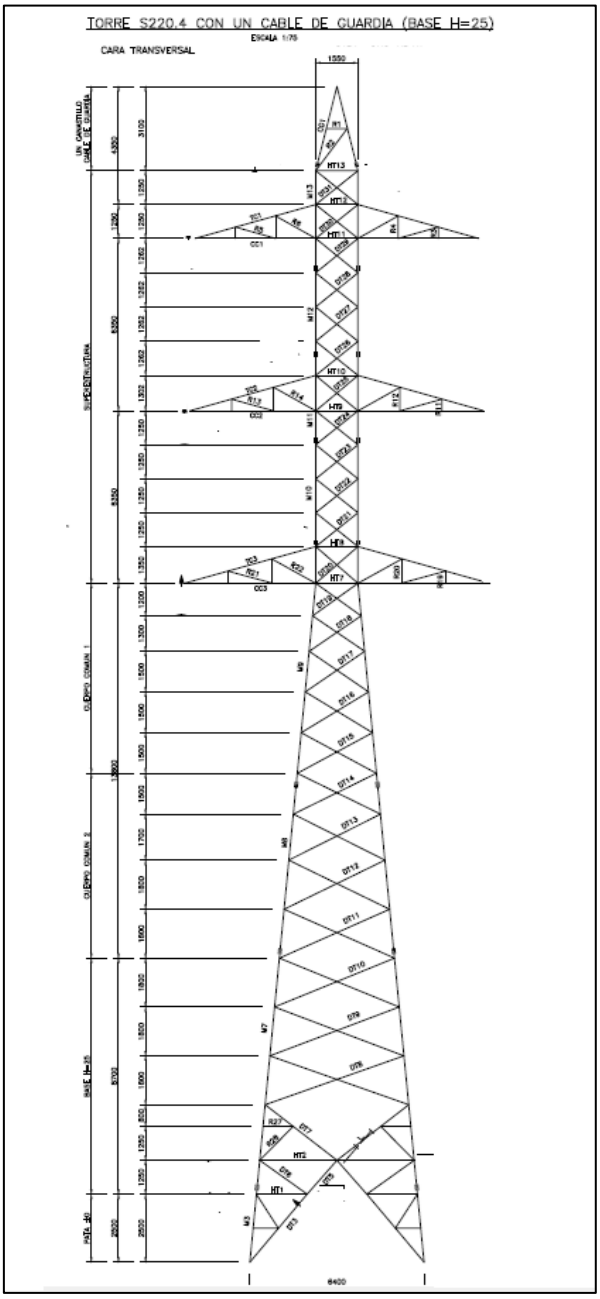
Tabla 22. Datos para líneas 1x 220kV Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack.

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por conductor
Fase 1	-63.509 Volts	600 Fase 0°
Fase 2	220.000/√3 = 127.017 Volts	600 Fase -120°
Fase 3	-63.509 Volts	600 Fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La línea del Proyecto se modela con la estructura A220.4 H45. En la Figura siguiente se presenta la silueta de la torre S220.4 con H25.

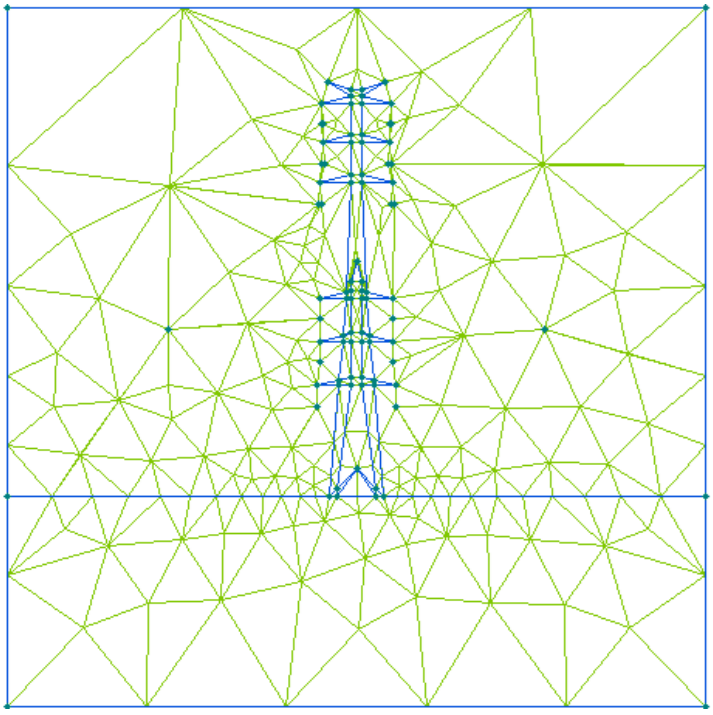
Figura 39. Torre S220.4 Líneas Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack.



Fuente: Infotécnica Coordinador

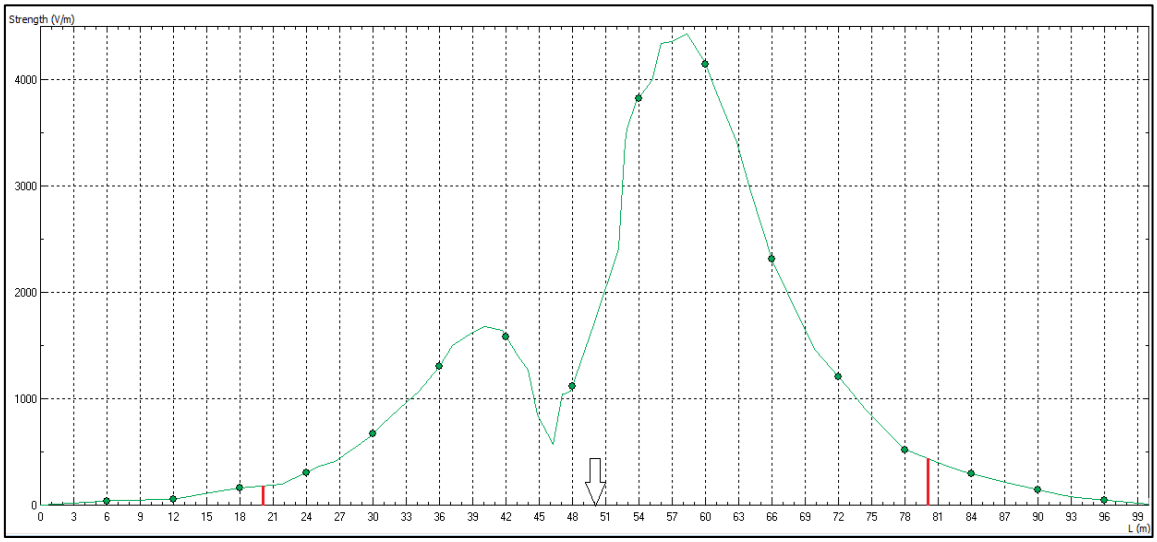
A continuación, se entregan los respectivos gráficos de campos.

Figura 40. Malla de elementos finitos en cruce con LT Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack.



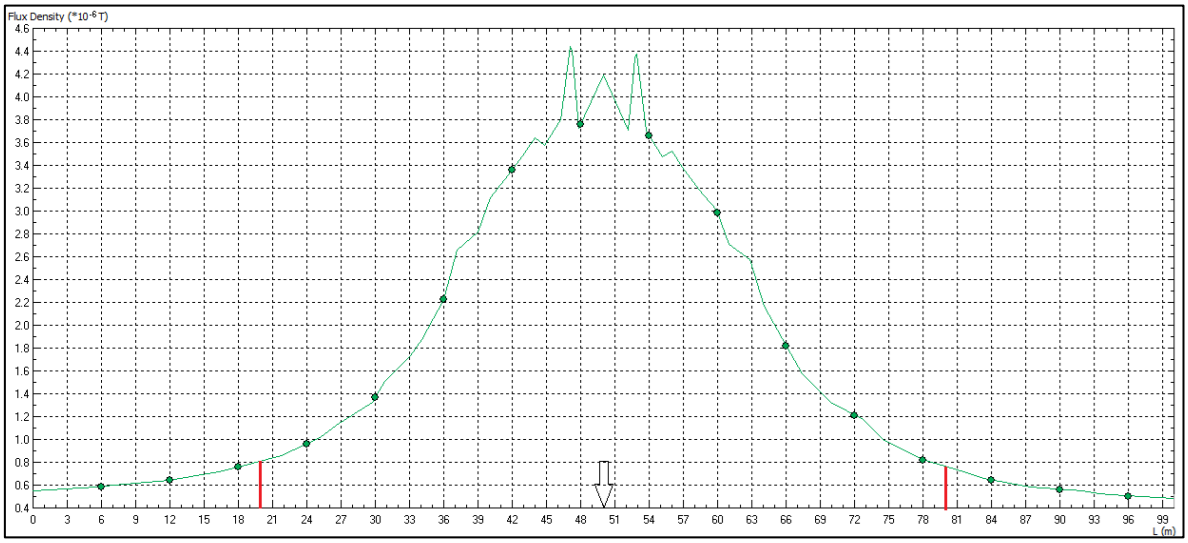
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 41. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack.



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Encuentro – MMH y Encuentro Tchitack.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto son las siguientes:

Tabla 23. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto.

Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
437	0,767

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.7.7. Cruce con Línea Kimal Crucero 2x220kV

La línea Kimal Crucero utiliza conductor AAAC Dove, de sección 361,6mm2, diámetro 23,55mm, dos conductores por fase, capacidad máxima de la línea 1.346 Amperes, equivalente a 673 Amperes por subconductor. Los datos de entrada para evaluar campo eléctrico y campo magnético bajo el punto de cruce son, numerados los conductores de arriba hacia abajo con segundo circuito invertido:

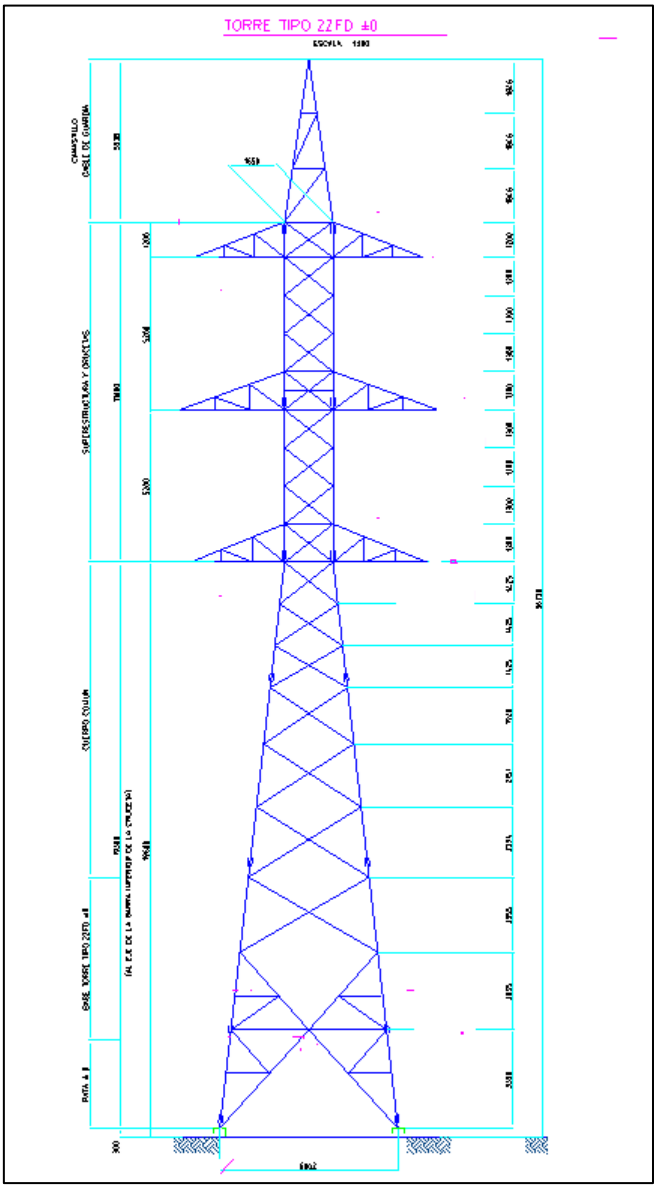
Tabla 24. Datos para línea Kimal Crucero 2x220kV.

	Para cálculo del campo eléctrico	Para cálculo del campo magnético
	[Volts]	[Amperes] por sub conductor
Fase 1	-63.509	673 Fase 0°
Fase 2	220.000/√3 = 127.017	673 Fase -120°
Fase 3	-63.509	673 Fase 120°

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La estructura cerca del punto de cruce es del tipo 22FD, cuya silueta se presenta en la Figura:

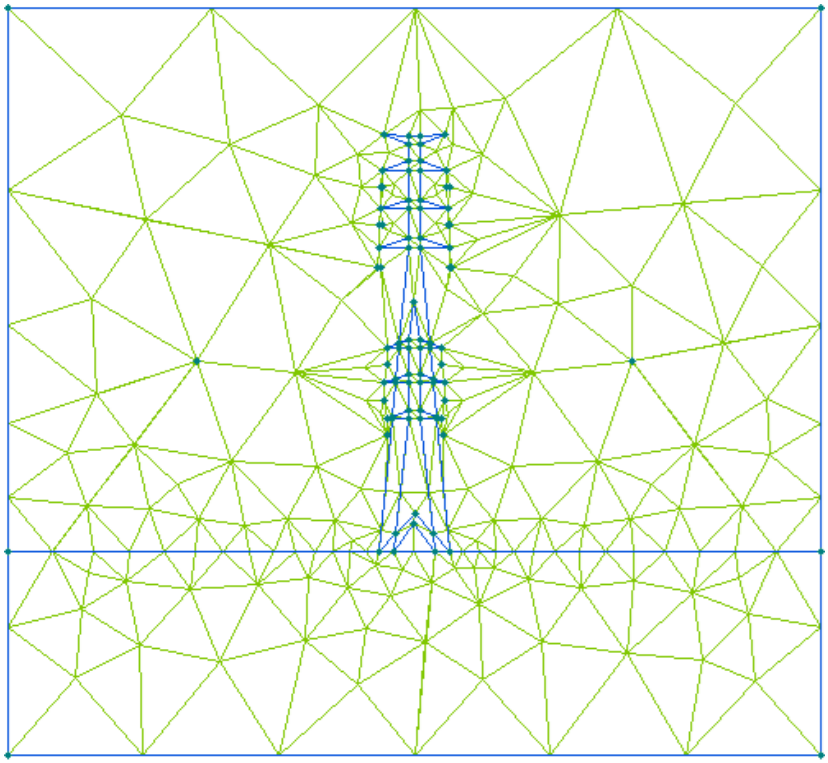
Figura 43. Torre tipo 22FD ± 0.



Fuente: Infotécnica Coordinador

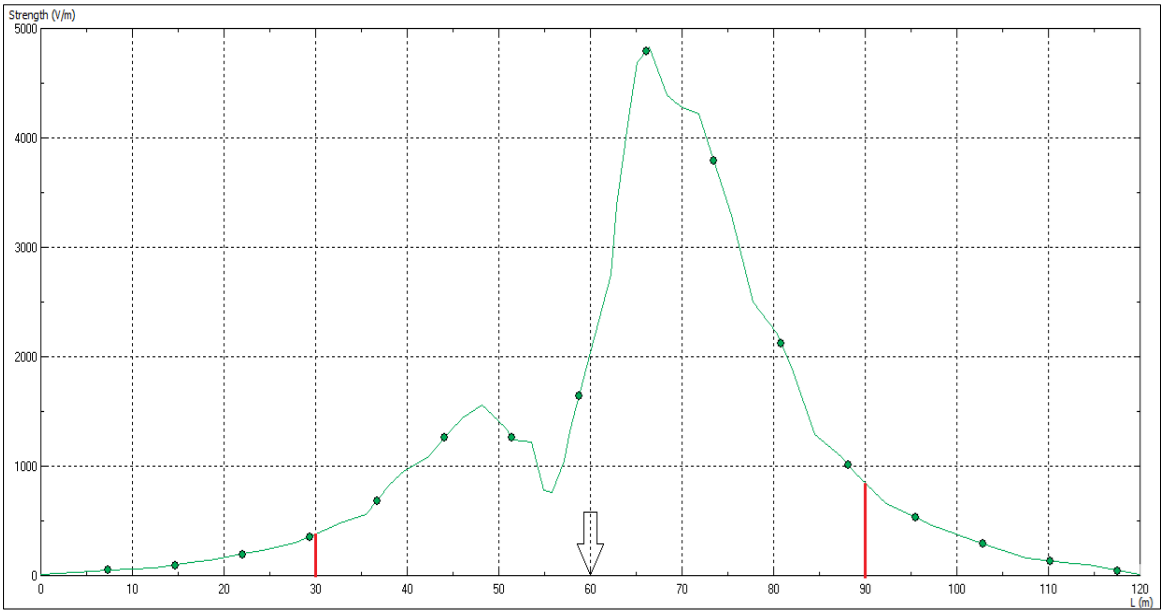
Para la línea del Proyecto se asumió la estructura de anclaje A220.4 H45. A continuación, se entregan los respectivos gráficos de campos.

Figura 44. Malla de elementos finitos en cruce con LT Kimal Crucero 2x220kV.



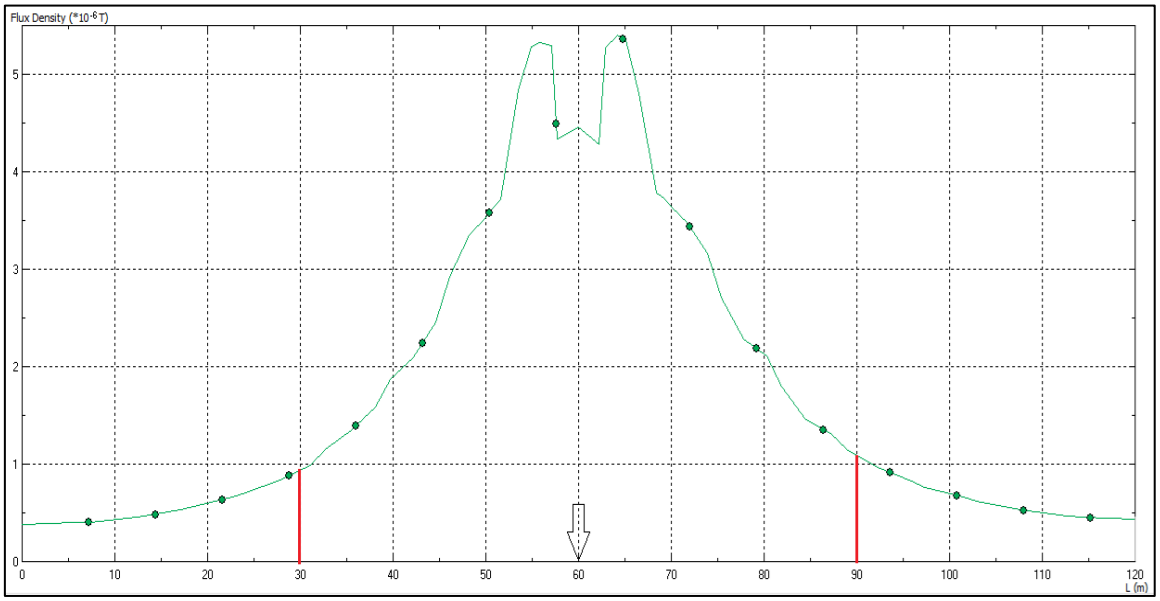
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 45. Campo eléctrico a 1m sobre el suelo cruce LT Kimal Crucero 2x220kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 46. Inducción magnética a 1m sobre el suelo cruce LT Kimal Crucero 2x220kV.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Las magnitudes de campo resultantes en borde de franja de la línea del Proyecto son:

Tabla 25. Magnitudes de campo en borde franja línea Proyecto.

Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]
850	1,100

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se ha identificado adicionalmente por el Titular del Proyecto un cruce adicional con una línea de 220kV proyectada y dos cruces con líneas de telecomunicaciones en los puntos de coordenadas:

Tabla 26. Coordenadas cruce con líneas de telecomunicaciones.

	Coordenada Este [m] WGS84 19S	Coordenada Norte [m] WGS84 19S
Línea de 220kV proyectada	448.712,14	7.537.264,46
Línea de telecomunicaciones	448.712,14	7.537.264,46
Línea de telecomunicaciones	448.720,16	7.536.529,79

Fuente: Titular del Proyecto

Se desconoce las características de la línea de 220kV proyectada y las líneas de telecomunicaciones cruzan perpendicularmente a la línea, por lo que no se producen efectos de inducción.

2.1.8. CAMPO EN RECEPTORES

Se ha identificado 9 sitios receptores en la proximidad de la línea, cuya identidad se presenta en la siguiente Tabla:

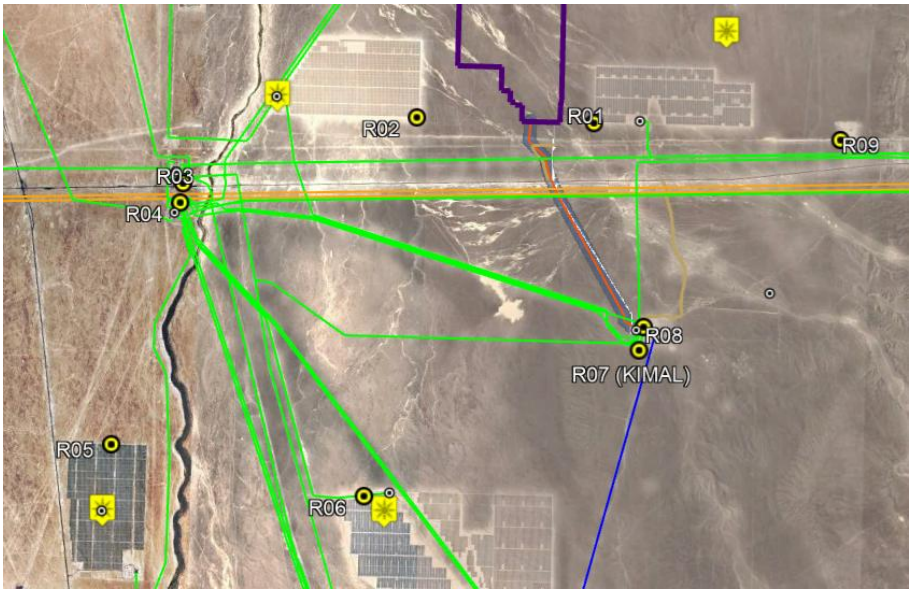
Tabla 27. Identificación Receptores y distancia línea del Proyecto

Receptor	Identificación	Distancia a la línea (m)	Coordenadas UTM WGS 84, huso19 S	
			Este UTM (m)	Norte UTM (m)
R01	Planta Solar Coya	1.220	449.454	7.537.644
R02	Parque Fotovoltaico Taira	2.193	446.096	7.537.663
R03	Subestación Crucero	6.740	441.703	7.536.295
R04	Subestación Encuentro	6.890	441.662	7.535.929
R05	Parque Fotovoltaico Valle del Sol	9.600	440.534	7.531.368
R06	Parque Fotovoltaico Rande	5.834	445.297	7.530.542
R07	Kimal	487	450.383	7.533.390
R08	Subestación Kimal	Conexión final	450.462	7.533.827
R09	Estacionamiento camiones	5.242	454.122	7.537.447

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se observa que la mayoría de los Receptores corresponden a instalaciones eléctricas que generan sus propios campos y las distancias a la línea del Proyecto son muy grandes comparados con el alcance que tienen los campos de esta línea, expuestos en los gráficos del Apéndice 1. Por otro lado, en la Figura siguiente se observa una gran cantidad de líneas de 220kV que afectan a los Receptores.

Figura 47. Ubicación receptores e instalaciones próximas.



Fuente: Sistema Eléctrico Nacional, 2026.

Por las razones indicadas, Se concluye que el aporte de los campos electromagnéticos generados por la línea del Proyecto en los receptores identificados es despreciable o no significativo, considerando las distancias existentes entre dichos receptores y las instalaciones evaluadas.

2.1.9. SÍNTESIS DE RESULTADOS

De la investigación bibliográfica y las modelaciones efectuadas para estimación de la magnitud de los efectos electromagnéticos provocados por las diversas instalaciones del Proyecto Línea de Transmisión SE Alfa Solar-SE Kimal 2x220 Kv, se obtiene los resultados presentados en las Tablas siguientes, conforme a los criterios de las normas referidas, indicando la ubicación donde se presentan dichos valores; se incluye en las Tablas también los límites establecidos por las respectivas normativas.

Tabla 28. Magnitudes de campo resultantes del estudio.

	Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]	Ubicación valor
Sistema BESS:			
Estación de Potencia 10 MVA	0	1	A 8 m del equipo
Línea de 33 kV subterránea	0	1,52	A 5m del eje canalización
Subestación 220kV:			
Transformador 240 MVA	100	1,64	Borde Subestación
Barras 220kV	217	2,07	Borde Subestación
Línea transmisión:			
En torre S220.4 H22	298	0,768	Borde franja
En torre A220.4 H25	423	1,288	Borde franja
En torre R220.4 H25	317	0,714	Borde franja
Cruce con líneas			
Palpana Crucero 1x220kV	313	0,452	Borde franja línea
Crucero Conchi 1x220kV	313	0,452	Borde franja línea
Crucero Chuquicamata 1x220kV y Crucero Est. 340 (Salar)	1.047	0,408	Borde franja línea
Central Diesel Tamaya A 1x110kV	275	0,167	Borde franja línea
Central Diesel Tamaya Salar 1x 110kV	226	0,288	Borde franja línea
Encuentro MMH 1x220kV y Encuentro Tchitack 1x220kV	437	0,767	Borde franja línea
Kimal Crucero 2x220kV	850	1,10	Borde franja línea
Límite ICNIRP	5.000	200	Valores seguros

	Campo eléctrico [V/m]	Inducción magnética [micro Tesla]	Ubicación valor
Límite RPTDN°07	5.000	100	
Criterio SEA	5.000	100	
CUMPLE	SI	SI	

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La magnitud de radio interferencia resultante para la línea del Proyecto y el límite de norma se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 29. Magnitud de radio interferencia generada por instalaciones del Proyecto.

Línea 220kV en Torre tipo:	[dB/uV/m]	Ubicación
S220.4 H22	29,96	A 15m conductor externo
A220.4 H25	26,13	A 15m conductor externo
R220.4 H25	26,15	A 15m conductor externo
Límite de Norma canadiense	53	
Cumple	SI	

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.1.10. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados presentados en las Tablas 27 y 28 anteriores, se concluye que el Proyecto Línea de Transmisión SE Alfa Solar-SE Kimal 2x220 Kv en operación, satisface la normativa nacional e internacional referente a campo electromagnético de baja frecuencia y alta frecuencia, en particular el criterio de seguridad para las personas definido por las publicaciones del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) respecto de magnitudes de campo seguros para las personas.

Conforme a lo indicado también por el SEA, se ha evaluado magnitud de campo en la ubicación de Receptores, detectándose un efecto nulo debido a las distancias hacia las instalaciones del Proyecto y también en el cruce de la línea del Proyecto con líneas existentes, para evaluar efectos acumulativos, encontrándose cumplimiento con las normativas y criterios.

2.1.11. REFERENCIAS

[1] Students' QuickField (TM) Finite Element Analysis System. Copyright (C) Tera Analysis Company, www.quickfield.com

[2] PLIEGO TÉCNICO NORMATIVO RPTD N°07, dictado por Resolución Exenta Nº 33.277, de fecha 10/09/2020,
Superintendencia de Electricidad y Combustibles

[3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ICNIRP Publication – 2010
ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 hz – 100 kHz)
Published in: Health Physics 99(6):818-836; 2010

[4] Servicio de Evaluación Ambiental
CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Evaluación de impactos por radiación electromagnética en proyectos de transmisión eléctrica,
, Primera Edición, Santiago, junio 2023

[5] Servicio de Evaluación Ambiental
Criterio de evaluación en el SEIA: Metodologías para la consideración de los impactos acumulativos y sinérgicos, Primera Edición Santiago, noviembre 2024

[6] Gary, C.; Moreau, M:
"L'effet de couronne en tensión alternative", Eyroller Collection. Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France (N° 24), 1976.

[7] Canadian Standards Association, Standard CAN3 C108.3.1-M84, "Limits and Measurement Methods of Electromagnetic Noise from AC Power Systems 0.15 to 30 MHz" Octubre 1984, Reaffirmed 2009.

[8] Worst Case Evaluation of Magnetic Field in the vicinity of Electric Power Substations
Gerhard Bräunlich, Reinhold Bräunlich. ETH Zürich, Switzerland; FKH Fachkommission für Hochspannungsfragen.
Proceedings, 20th Int. Zurich Symposium on EMC, Zurich 2009

[9] Modeling and calculation of electromagnetic field in the surroundings of a large power transformer. Leonardo Strac, Franjo Kelemen, Damir Zarko. Josipa Mokrovica 6, 10090 Zagreb-CROATIA.
Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.17, No.3, 2009.

2.1.12. ANEXOS

Apéndice 1 Cálculo del campo electromagnético generado por la línea de transmisión

La metodología utilizada para la solución del campo eléctrico y de la inducción magnética consiste en una modelación de las estructuras y los conductores mediante elementos finitos, aplicando el software utilitario QuickField [1], para resolver campo eléctrico y campo magnético en un plano transversal a la línea. En alta tensión, frecuencia 50Hz, el campo eléctrico se resuelve por las mismas metodologías de solución del campo estático, en QuickField existe la opción Electrostatic; el análisis se efectúa en un instante específico en que una fase se encuentra en su valor máximo efectivo y por lo tanto las otras dos fases se encuentran en el 50% negativo de este valor. En QuickField se tiene la opción de resolver campo magnético variable en el tiempo, (opción AC Magnetics) de modo que las fases se entregan con módulo y fase. Las condiciones de borde para el campo eléctrico son voltaje nulo en el contorno externo y en el plano de tierra y para el campo magnético, potencial magnético nulo en el contorno externo. El resultado del análisis se presenta en la forma de perfiles de campo evaluados a una altura de 1,0 m sobre el suelo.

Los parámetros de entrada para evaluar campo eléctrico en la línea de 220kV son, numerados de arriba hacia abajo en el circuito de la izquierda:
Fase 1: 220.000/√3 = 127.017 Volts
Fase 2: -63.509 Volts
Fase 3: -63.509 Volts
El circuito de la derecha se considera con fases invertidas.
Para el análisis del campo magnético se consideró la potencia máxima de cada transformador 240 MVA, lo que define eventualmente una corriente por fase de 1.260 Amperes. Los parámetros de entrada para evaluar inducción magnética son por lo tanto, numerados conforme a lo indicado previamente:
Fase 1: 1.260 Amperes por fase, 630 Amperes por sub conductor; ángulo 0°
Fase 2: 1.260 Amperes por fase, 630 Amperes por sub conductor; ángulo -120°
Fase 3: 1.260 Amperes por fase, 630 Amperes por sub conductor; ángulo 120°

A continuación, se muestra la malla de elementos finitos en el plano transversal y los gráficos de campo eléctrico e inducción magnética resultantes en el plano, soportada la línea por las distintas estructuras analizadas. La línea transversal en las Figuras señala la superficie del suelo; las líneas rojas en los gráficos indican una distancia de 30m al eje que representa un ancho de franja de 60m y la flecha señala la ubicación de la línea.

A1.1 Línea soportada por Estructura S220.4 Base H22

Figura A1 1 Malla de elementos finitos Estructura S220.4 Base H22

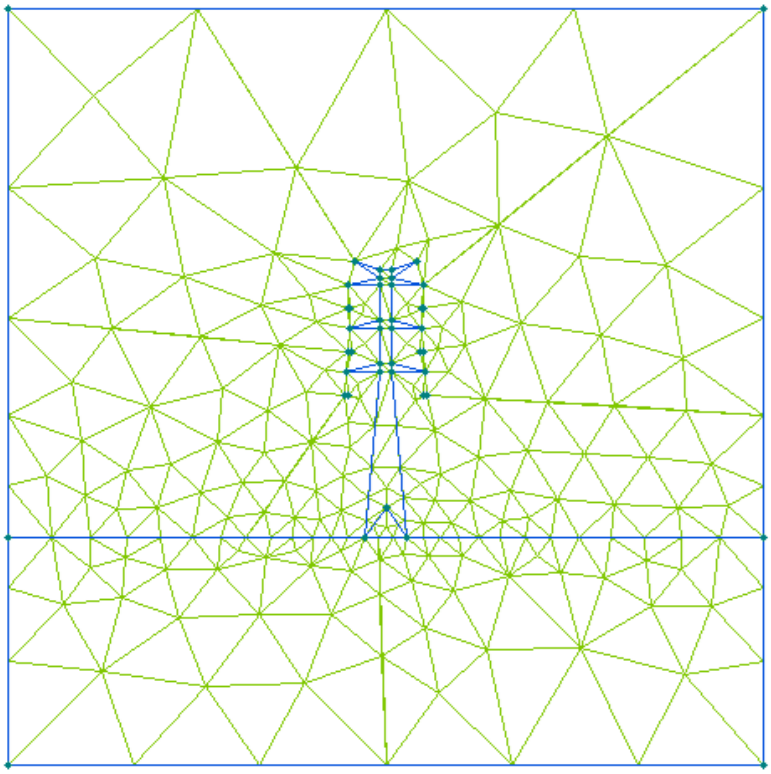


Figura A1 2 Campo eléctrico a 1m sobre el suelo Estructura S220.4 Base H22

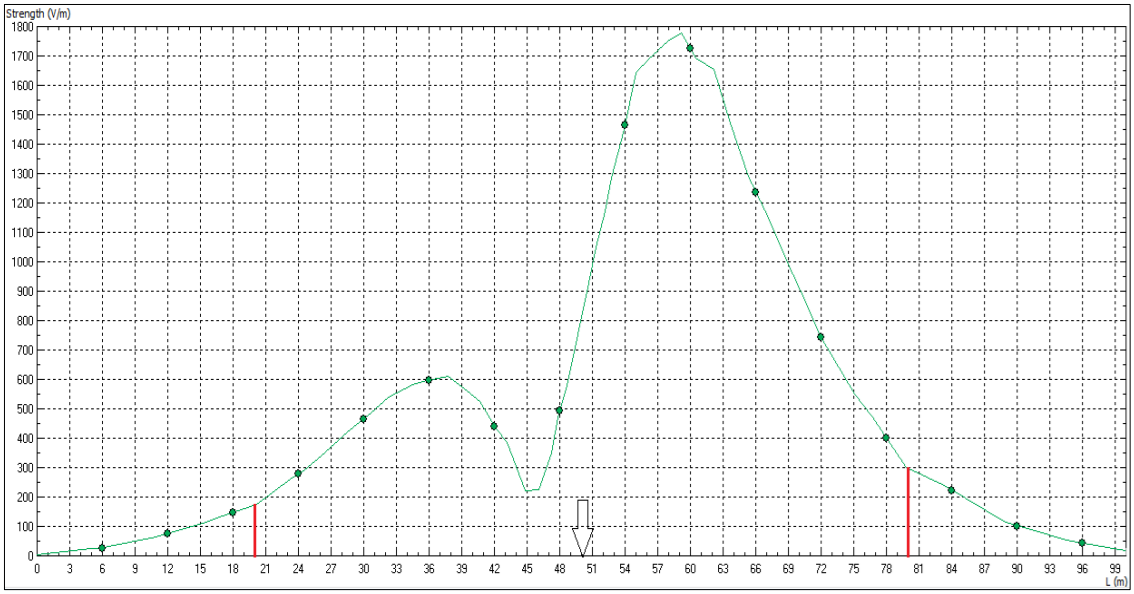
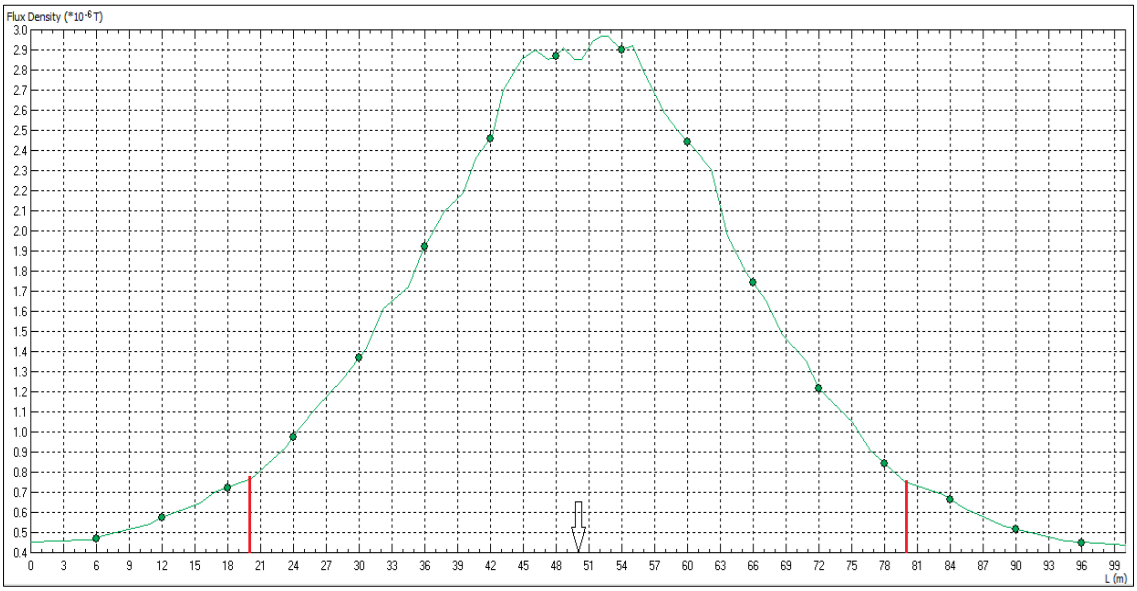


Figura A1 3 Inducción magnética a 1m sobre el suelo Estructura S220.4 Base H22



A1.2 Línea soportada por estructura A220.4 Base H25

Figura A1 4 Malla de elementos finitos Estructura A220.4 Base H25

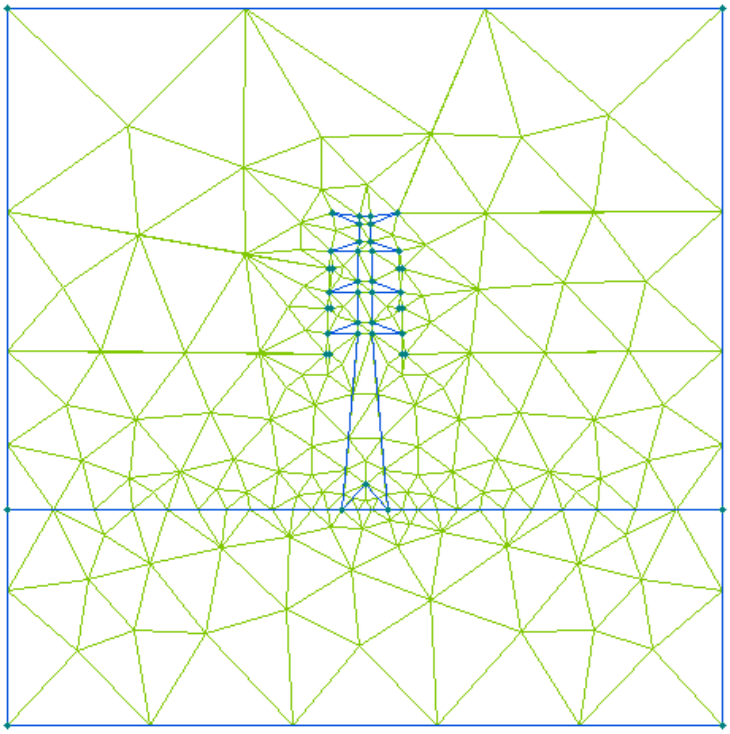


Figura A1 5 Campo eléctrico a 1m sobre el suelo Estructura A220.4 Base H25

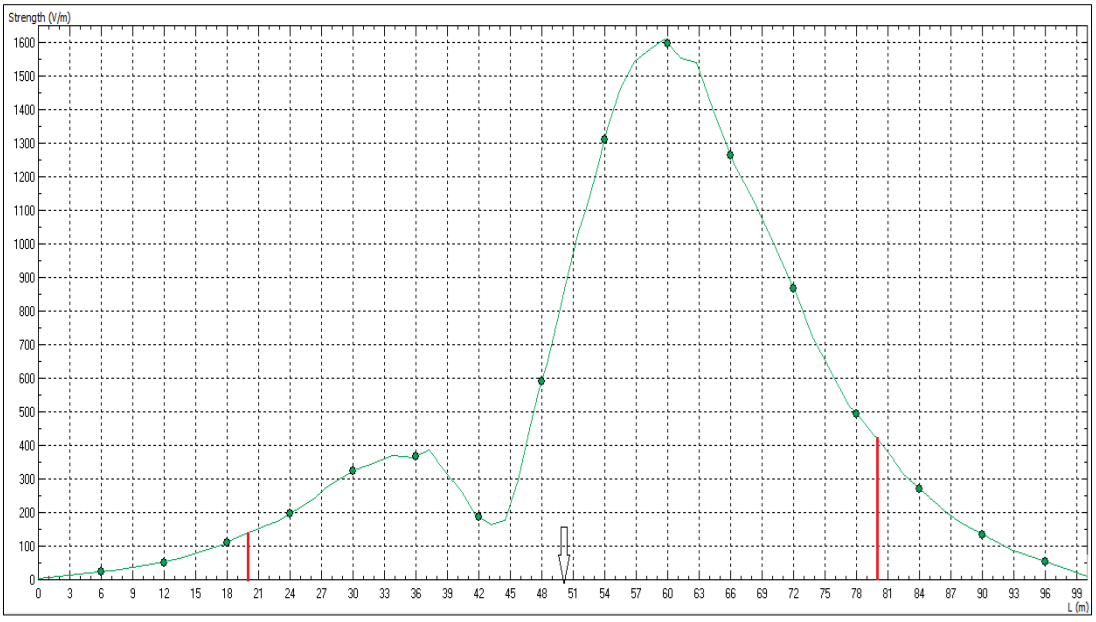
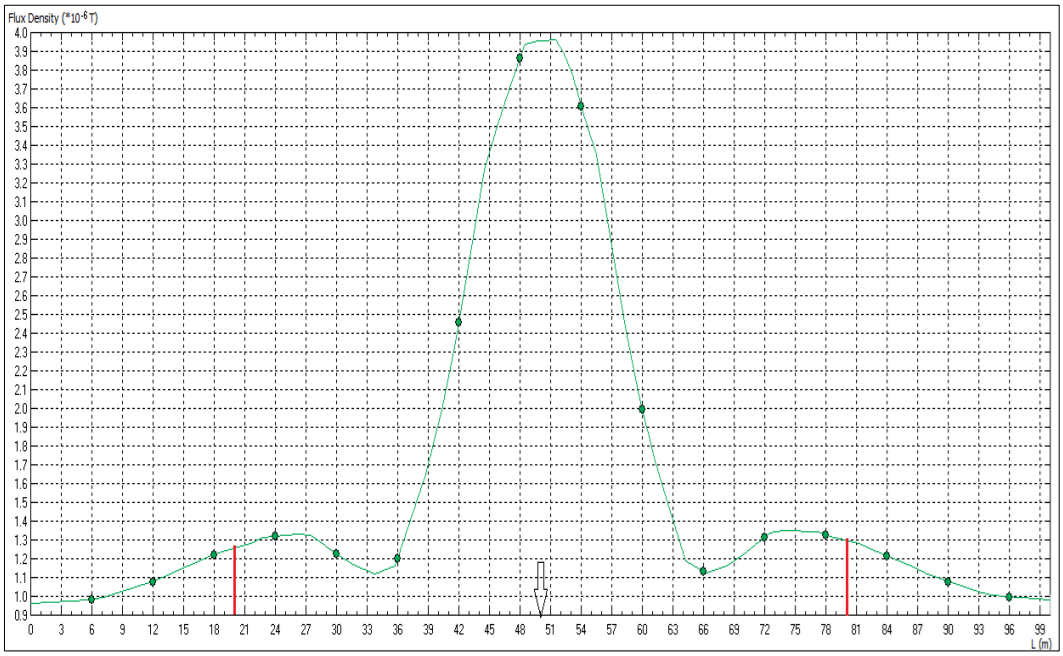


Figura A1 6 Inducción magnética a 1m sobre el suelo Estructura A220.4 Base H25



A1.3 Línea soportada por estructura R220.4 H25

Figura A1 7 Malla de elementos finitos Estructura R220.4 H25

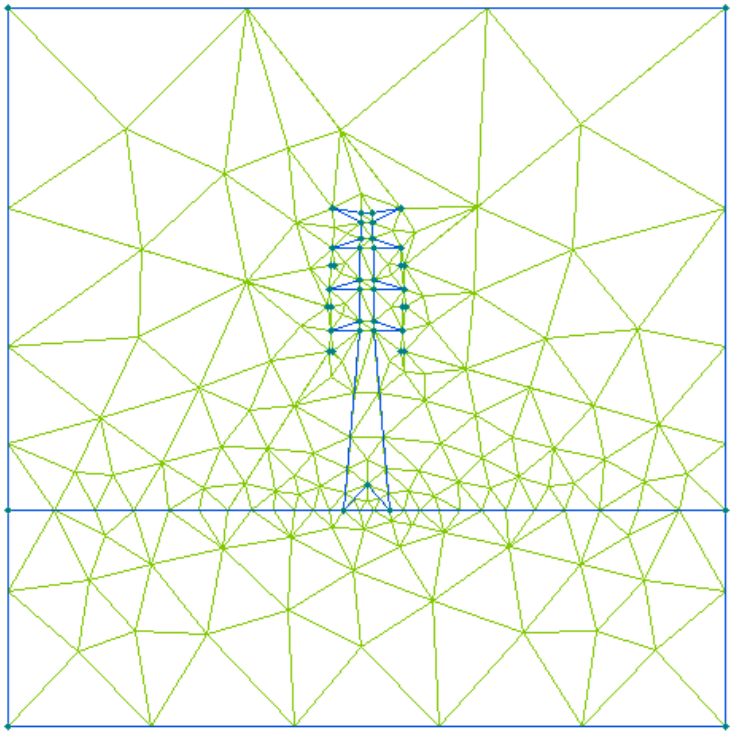


Figura A1 8 Campo eléctrico a 1m sobre el suelo Estructura R220.4 H25

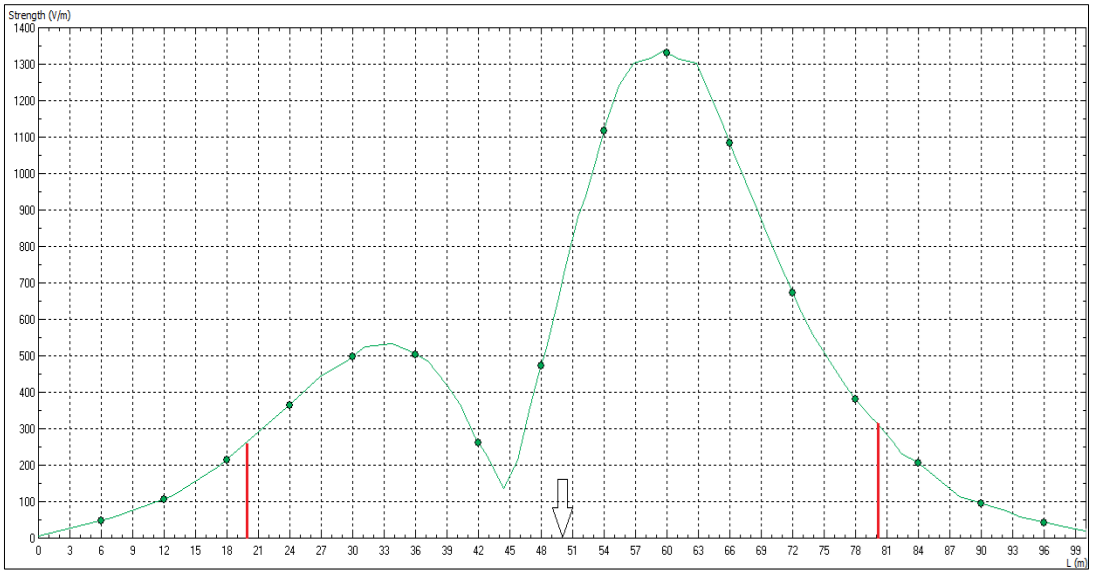
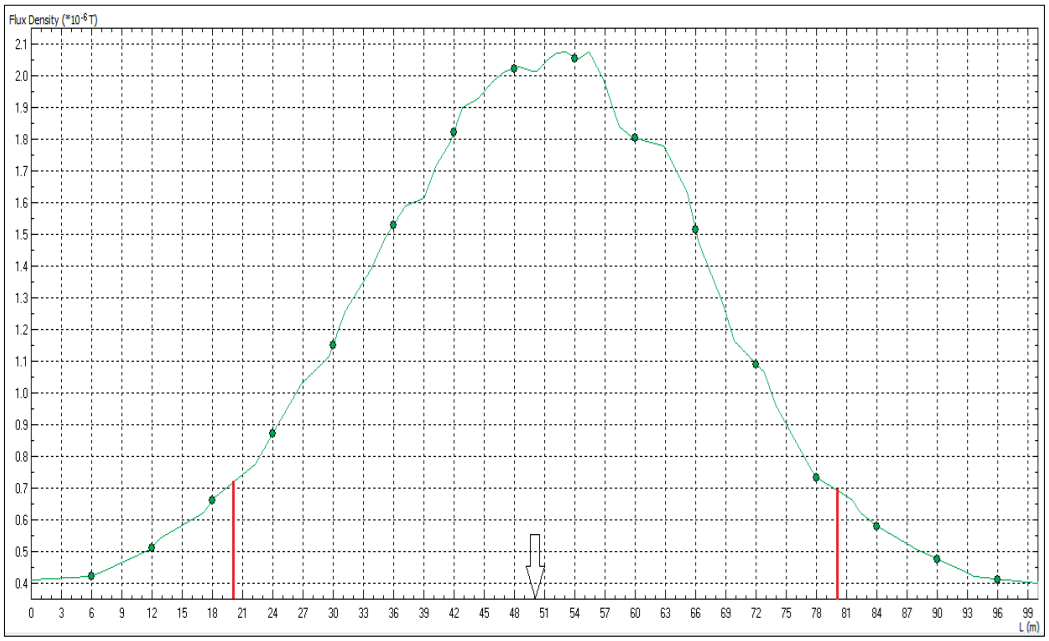


Figura A1 9 Inducción magnética a 1m sobre el suelo Estructura R220.4 H25



Apéndice 2 Cálculo de gradiente superficial y radio interferencia

A continuación, se incluye el listado de salida del programa LINEAS, de elaboración propia, que ocupa el método de simulación de cargas [2] para evaluar el campo eléctrico superficial de los conductores y la radio interferencia, aplicado a la línea de 220 kV.

Nota : el programa utiliza punto decimal en vez de coma; no utiliza tilde para acentos.

A2.1 Línea en torre S220.4 H22

CAMPO ELECTRICO Y POTENCIAL INDUCIDO EN TORNO A LINEAS DE TRANSMISION

Numero total de conductores : 8
Numero de conductores activos : 6
Numero de cables de guardia : 2

Fase	1	2	3	4	5	6
Numero de subconductores	2	2	2	2	2	2
Radio del subconductor (cm)	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
Separación entre subconductores (cm)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Ubicación lateral del conductor (m)	-5.200	-4.900	-4.900	5.200	4.900	4.900
Altura conductor sobre el suelo (m)	17.000	22.700	28.400	17.000	22.700	28.400

Cable de guarda	1	2
Numero de subconductores	1	1
Radio del subconductor (cm)	0.600	0 .600
Ubicación lateral del conductor (m)	-4.085	4.085
Altura conductor sobre el suelo (m)	31.400	31.400

FASE	RADIO HAZ (cm)	RADIO COND. EQUIV. (cm)
1	20.000	7.000
2	20.000	7.000
3	20.000	7.000
4	20.000	7.000
5	20.000	7.000
6	20.000	7.000

Matriz de coeficientes (amplif. por $(2 \pi \varepsilon_0)$)

6.1856	1.9395	1.3816	1.2293	1.2619	1.1164	1.2095	1.0565
1.9395	6.4748	2.1933	1.2619	1.5559	1.5238	1.8233	1.4782
1.3816	2.1933	6.6988	1.1164	1.5238	1.7718	2.9569	1.8538
1.2293	1.2619	1.1164	6.1856	1.9395	1.3816	1.0565	1.2095
1.2619	1.5559	1.5238	1.9395	6.4748	2.1933	1.4782	1.8233
1.1164	1.5238	1.7718	1.3816	2.1933	6.6988	1.8538	2.9569
1.2095	1.8233	2.9569	1.0565	1.4782	1.8538	9.2560	2.0479
1.0565	1.4782	1.8538	1.2095	1.8233	2.9569	2.0479	9.2560

Matriz de capacitancias (amplif. por $1/(2 \pi \varepsilon_0)$)

.1868	-.0404	-.0139	-.0191	-.0131	-.0069	-.0056	-.0036
-.0404	.1942	-.0385	-.0131	-.0168	-.0126	-.0125	-.0069
-.0139	-.0385	.1965	-.0069	-.0126	-.0174	-.0442	-.0129
-.0191	-.0131	-.0069	.1868	-.0404	-.0139	-.0036	-.0056
-.0131	-.0168	-.0126	-.0404	.1942	-.0385	-.0069	-.0125
-.0069	-.0126	-.0174	-.0139	-.0385	.1965	-.0129	-.0442
-.0056	-.0125	-.0442	-.0036	-.0069	-.0129	.1320	-.0118
-.0036	-.0069	-.0129	-.0056	-.0125	-.0442	-.0118	.1320

Potenciales de conductores (KVolts)

(127.0170,	0.0000)	127.0170
(-63.5085,	-110.0000)	127.0170
(-63.5085,	110.0000)	127.0170
(-63.5085,	110.0000)	127.0170
(-63.5085,	-110.0000)	127.0170
(-63.5085,	110.0000)	127.0170
(0.0000,	0.0000)	0.0000
(0.0000,	0.0000)	0.0000

Cargas en conductores (Cb)/($2 \pi \varepsilon_0$)

(29.6620,	1.4967)	29.6997
(-12.3220,	-26.5832)	29.3001
(-9.4456,	24.5536)	26.3078
(-9.5718,	24.1483)	25.9762
(-7.1237,	-29.5844)	30.4300
(-8.1257,	23.7915)	25.1409

(4.3739,	-4.5452)	6.3079
(4.7560,	-4.7659)	6.7330

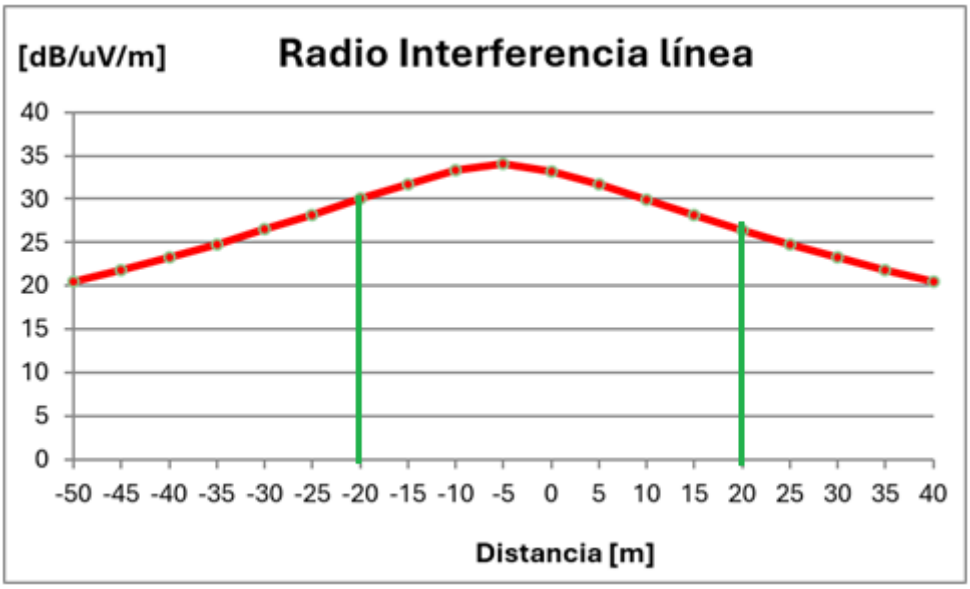
Gradientes superficiales (kVef./cm)

(12.8485,	0.6483)	12.8648
(-5.3374,	-11.5149)	12.6917
(-4.0915,	10.6357)	11.3956
(-4.1462,	10.4602)	11.2519
(-3.0857,	-12.8149)	13.1812
(-3.5198,	10.3056)	10.8901
(7.2898,	-7.5754)	10.5132
(7.9267,	-7.9431)	11.2216

Radio interferencia según norma

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Según norma
29,24	27,68	19,84	29,96

VARIACIÓN CON LA DISTANCIA



A2.2 Línea en torre A220.4 H25

CAMPO ELECTRICO Y POTENCIAL INDUCIDO EN TORNO A LINEAS DE TRANSMISION

Numero total de conductores : 8
Numero de conductores activos : 6
Numero de cables de guardia : 2

Fase	1	2	3	4	5	6
Numero de subconductores	2	2	2	2	2	2
Radio del subconductor (cm)	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
Separación entre subconductores (cm)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Ubicación lateral del conductor (m)	-5.300	-5.000	-4.700	5.300	5.000	4.700
Altura conductor sobre el suelo (m)	20.000	25.750	31.500	20.000	25.750	31.500

Cable de guarda	1	2
Numero de subconductores	1	1
Radio del subconductor (cm)	0.600	0 .600
Ubicación lateral del conductor (m)	-4.5	4.5
Altura conductor sobre el suelo (m)	37.00	37.00

FASE	RADIO HAZ (cm)	RADIO COND. EQUIV. (cm)
1	20.000	7.000
2	20.000	7.000
3	20.000	7.000
4	20.000	7.000
5	20.000	7.000
6	20.000	7.000

Matriz de coeficientes (amplif. por (2 π ε_0))

6.3481	2.0727	1.4979	1.3620	1.3801	1.2362	1.2088	1.0809
2.0727	6.6008	2.2969	1.3801	1.6575	1.6389	1.7178	1.4610
1.4979	2.2969	6.8024	1.2362	1.6389	1.9134	2.5214	1.8638
1.3620	1.3801	1.2362	6.3481	2.0727	1.4979	1.0809	1.2088
1.3801	1.6575	1.6389	2.0727	6.6008	2.2969	1.4610	1.7178
1.2362	1.6389	1.9134	1.4979	2.2969	6.8024	1.8638	2.5214
1.2088	1.7178	2.5214	1.0809	1.4610	1.8638	9.4201	2.1142
1.0809	1.4610	1.8638	1.2088	1.7178	2.5214	2.1142	9.4201

Matriz de capacitancias (amplif. por 1/(2 π ε_0))

.1848	-.0412	-.0147	-.0200	-.0135	-.0077	-.0056	-.0036
-.0412	.1931	-.0399	-.0135	-.0168	-.0138	-.0109	-.0064
-.0147	-.0399	.1897	-.0077	-.0138	-.0211	-.0314	-.0135
-.0200	-.0135	-.0077	.1848	-.0412	-.0147	-.0036	-.0056
-.0135	-.0168	-.0138	-.0412	.1931	-.0399	-.0064	-.0109
-.0077	-.0138	-.0211	-.0147	-.0399	.1897	-.0135	-.0314
-.0056	-.0109	-.0314	-.0036	-.0064	-.0135	.1245	-.0142
-.0036	-.0064	-.0135	-.0056	-.0109	-.0314	-.0142	.1245

Potenciales de conductores (KVolts)

(	127.0170,	0.0000)	127.0170
(	-63.5085,	-110.0000)	127.0170
(	-63.5085,	110.0000)	127.0170
(	-63.5085,	110.0000)	127.0170
(	-63.5085,	-110.0000)	127.0170
(	127.0170,	0.0000)	127.0170
(	0.0000,	0.0000)	0.0000
(	0.0000,	0.0000)	0.0000

Cargas en conductores (Cb)/(2 π ε_0)

(	28.1758,	2.2082)	28.2622
(	-14.7789,	-25.2668)	29.2716
(	-12.6980,	25.9280)	28.8704
(	-12.1755,	25.5051)	28.2622
(	-14.4922,	-25.4324)	29.2717
(	28.8033,	1.9672)	28.8704
(	0.9036,	-1.9447)	2.1444

(-2.1359, -.1898) 2.1444

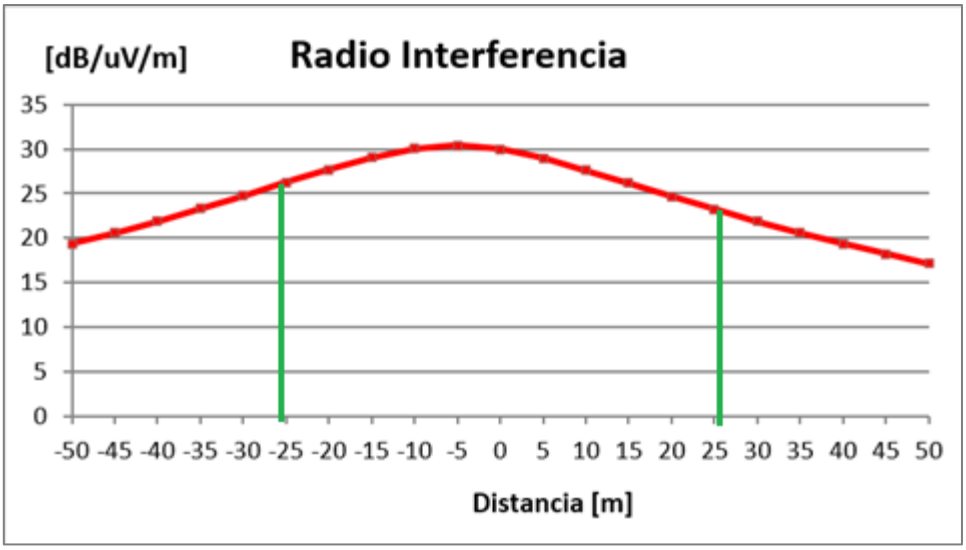
Gradientes superficiales (kVef./cm)

(12.2047, 0.9565) 12.2421
(-6.4017, -10.9447) 12.6794
(-5.5003, 11.2310) 12.5056
(-5.2740, 11.0479) 12.2421
(-6.2775, -11.0164) 12.6794
(12.4765, 0.8521) 12.5056
(1.5059, -3.2412) 3.5739
(-3.5599, -0.3164) 3.5739

Radio interferencia según norma

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Según norma
24,75	24,51	21,97	26,13

VARIACIÓN CON LA DISTANCIA



A2.3 Línea en torre R220.4 H25

CAMPO ELECTRICO Y POTENCIAL INDUCIDO EN TORNO A LINEAS DE TRANSMISION

Numero total de conductores : 8
Numero de conductores activos : 6
Numero de cables de guardia : 2

Fase	1	2	3	4	5	6
Numero de subconductores	2	2	2	2	2	2
Radio del subconductor (cm)	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
Separacion entre subconductores (cm)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Ubicacion lateral del conductor (m)	-5.500	-5.200	-4.900	5.500	5.200	4.900
Altura conductor sobre el suelo (m)	20.000	25.750	31.450	20.000	25.750	31.450

Cable de guarda	1	2
Numero de subconductores	1	1
Radio del subconductor (cm)	0.600	0 .600
Ubicacion lateral del conductor (m)	-4.7	4.7
Altura conductor sobre el suelo (m)	36.95	36.95

FASE	RADIO HAZ (cm)	RADIO COND. EQUIV. (cm)
1	20.000	7.000
2	20.000	7.000
3	20.000	7.000
4	20.000	7.000
5	20.000	7.000
6	20.000	7.000

Matriz de coeficientes (amplif. por $(2\ \pi\ \varepsilon_0)$)

6.3481	2.0727	1.5013	1.3274	1.3524	1.2219	1.2109	1.0732
2.0727	6.6008	2.3047	1.3527	1.6193	1.6111	1.7215	1.4461
1.5013	2.3047	6.8008	1.2219	1.6108	1.8712	2.5200	1.8314
1.3274	1.3527	1.2219	6.3481	2.0727	1.5013	1.0732	1.2109
1.3524	1.6193	1.6108	2.0727	6.6008	2.3047	1.4459	1.7215

1.2219	1.6111	1.8712	1.5013	2.3047	6.8008	1.8314	2.5200
1.2109	1.7215	2.5200	1.0732	1.4459	1.8314	9.4187	2.0700
1.0732	1.4461	1.8314	1.2109	1.7215	2.5200	2.0700	9.4187

Matriz de capacitancias (amplif. por $1/(2\pi\varepsilon_0)$)

.1846	-.0414	-.0150	-.0191	-.0131	-.0077	-.0057	-.0036
-.0414	.1928	-.0405	-.0131	-.0160	-.0134	-.0111	-.0064
-.0150	-.0405	.1894	-.0077	-.0134	-.0202	-.0316	-.0131
-.0191	-.0131	-.0077	.1846	-.0414	-.0150	-.0036	-.0057
-.0131	-.0160	-.0134	-.0414	.1928	-.0405	-.0064	-.0111
-.0077	-.0134	-.0202	-.0150	-.0405	.1894	-.0131	-.0316
-.0057	-.0111	-.0316	-.0036	-.0064	-.0131	.1243	-.0137
-.0036	-.0064	-.0131	-.0057	-.0111	-.0316	-.0137	.1243

Potenciales de conductores (KVolts)

(	127.0170,	0.0000)	127.0170
(	-63.5085,	-110.0000)	127.0170
(	-63.5085,	110.0000)	127.0170
(	-63.5085,	110.0000)	127.0170
(	-63.5085,	-110.0000)	127.0170
(	127.0170,	0.0000)	127.0170
(	0.0000,	0.0000)	0.0000
(	0.0000,	0.0000)	0.0000

Cargas en conductores (Cb)/($2\pi\varepsilon_0$)

(	28.0964,	2.2507)	28.1864
(	-14.7887,	-25.3525)	29.3505
(	-12.5874,	25.9246)	28.8189
(	-12.0981,	25.4592)	28.1875
(	-14.5604,	-25.4823)	29.3488
(	28.7457,	2.0625)	28.8196
(	0.9593,	-1.9502)	2.1733
(	-2.1683,	-0.1439)	2.1731

Gradientes superficiales (kVef./cm)

(	12.1703,	0.9749)	12.2093
(	-6.4059,	-10.9818)	12.7136
(	-5.4524,	11.2296)	12.4833

(-5.2405,	11.0280)	12.2098
(-6.3070,	-11.0380)	12.7128
(12.4516,	0.8934)	12.4836
(1.5988,	-3.2503)	3.6222
(-3.6139,	-0.2398)	3.6218

Radio interferencia según norma

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Según norma
24,66	24,65	21,93	26,15

VARIACIÓN CON LA DISTANCIA

<

