



Anexo 4 Estudio de Campos Electromagnéticos Producidos por Conductores Energizados de la LTE 2x220 kV Cardones-Cerro Negro Norte-Totalillo

DIA LTE 2x220 kV Cardones-Cerro Negro Norte-Totalillo Región de Atacama

Julio de 2010

Preparado por:

Nelson Morales Osorio
Ingeniero Civil Electricista
Profesor Adjunto
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile.

ÍNDICE

1. ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRODUCIDOS POR CONDUCTORES ENERGIZADOS DE LA LTE 2X220 KV CARDONES-CERRO NEGRO NORTE-TOTALILLO	1
1.1. Objetivo.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Estimación de la Magnitud del Campo Eléctrico a 1 metro de Altura sobre el Suelo, Provocado por la Línea de 220 kV. Perfil Transversal a la Línea	2
1.4. Estimación de la Magnitud del Campo Magnético a 1 metro de Altura sobre el Suelo, Provocado por la Corriente de Régimen Permanente. Perfil Transversal a la Línea	3
1.5. Efectos Derivados del Fenómeno Corona	4
1.5.1 Estimación de Niveles de Perturbaciones por Efecto Corona	4
1.5.2 Ozono	6
1.6. Conclusiones	6
1.7. Referencias.....	7
1.8. Apéndices	8
1.8.1 Estudio del Campo Eléctrico	8
1.8.1.1 Estructura de Suspensión Tipo S220.2	9
1.8.1.2 Estructura de Anclaje Tipo A220.2	16
1.8.1.3 Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	23
1.8.2 Estudio de Campo Magnético	29
1.8.2.1 Estructura de Suspensión Tipo S220.2	31
1.8.2.2 Estructura de Anclaje Tipo A220.2.....	37
1.8.2.3 Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	43
1.8.3 Cálculo de Gradientes Superficiales y Niveles de Ruido	48
1.8.3.1 Estructura de Anclaje A220.2	49
1.8.3.2 Estructura de Suspensión Tipo S220.2	51
1.8.3.3 Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	53
1.8.4 Normas de Referencia Aplicables en Chile respecto de la Exposición Humana a Campos electromagnéticos de 50 HZ.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valor máximo de campo eléctrico encontrado a 1,0 metro sobre el suelo	3
Tabla 2: Valor máximo de campo magnético encontrado a 1,0 metro sobre el suelo	4
Tabla 3: Valor máximo de perturbaciones estimadas a 15 m de la fase externa (distancia lateral).....	5
Tabla 4: Resumen	8
Tabla 5: Resumen	30
Tabla 6: Resumen	49

Tabla 7: Límite de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de 50 Hz, Público General 55
Tabla 8: Límite de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de 50 Hz, Exposición Ocupacional
..... 56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nivel de perturbación radio eléctrica aceptable a 1 MHz 5
Figura 2: Modelamiento con elementos finitos de silueta de torre. Definición de dimensiones del enmallado de triángulos 9
Figura 3: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase superior 10
Figura 4: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase superior. L=50: Eje de la línea 11
Figura 5: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase central..... 12
Figura 6: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase central..... 13
Figura 7: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase lateral..... 14
Figura 8: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase lateral..... 15
Figura 9: Modelamiento con elementos finitos de silueta de torre. Definición de dimensiones del enmallado de triángulos 16
Figura 10: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase superior 17
Figura 11: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase superior. L=50: Eje de la línea .. 18
Figura 12: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase central..... 19
Figura 13: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase central..... 20
Figura 14: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase lateral..... 21
Figura 15: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase lateral..... 22
Figura 16: Modelamiento con elementos finitos de silueta de torre. Definición de dimensiones del enmallado de triángulos 23
Figura 1.17: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase superior 24
Figura 18: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase superior. L=50: Eje de la línea .. 25
Figura 19: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase central..... 26
Figura 20: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase central..... 27
Figura 21: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fase lateral..... 28
Figura 22: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fase lateral..... 29
Figura 23: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase superior..... 31
Figura 24: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase superior. L=50: Eje de la línea 32
Figura 25: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase central..... 33
Figura 26: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase central..... 34
Figura 27: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase lateral..... 35
Figura 28: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase lateral..... 36
Figura 29: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase superior..... 37

Figura 30: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase superior. L=50: Eje de la línea	38
Figura 31: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase central.....	39
Figura 32: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase central.....	40
Figura 33: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase lateral.....	41
Figura 34: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase lateral.....	42
Figura 35: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase superior.....	43
Figura 36: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase superior. L=50: Eje de la línea	44
Figura 37: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase central.....	45
Figura 38: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase central.....	46
Figura 39: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fase lateral.....	47
Figura 40: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fase lateral.....	48

1. ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRODUCIDOS POR CONDUCTORES ENERGIZADOS DE LA LTE 2X220 KV CARDONES-CERRO NEGRO NORTE-TOTALILLO

1.1. Objetivo

El propósito de este estudio es estimar la magnitud de los campos electromagnéticos provocados por la operación de una línea de 220 kV doble circuito, que interconectará la subestación Cardones con la subestación Cerro Negro Norte. Esta línea de transmisión cuenta con una longitud de 65 Km aproximadamente y se ubica en la III Región geográfica de Chile.

En particular en este estudio se determina el campo eléctrico y el campo magnético de frecuencia industrial y la magnitud de algunos efectos derivados del fenómeno corona. Para determinar la magnitud del campo eléctrico y del campo magnético en el entorno de la línea se utiliza un programa computacional que aplica el método de elementos finitos [1]. El cálculo de nivel de perturbación a frecuencias de radio y televisión y el ruido audible se determina aplicando métodos aproximados de conocimiento general [2].

1.2. Antecedentes

El proyecto consideró que la línea debe transmitir una potencia de 85MVA, que corresponde a una corriente de 223 Amperes por fase. Cada una de las fases tendrá un (1) conductor de las siguientes características:

Nombre de código	AAAC 636 MCM Flint
Material	Aleación de Aluminio tipo 6201
Sección	375 mm ²
Diámetro exterior	25,16 mm
Peso unitario	1,035 kg/m
Tensión de rotura	11.023 kg
Módulo de elasticidad	6.350 kg/mm ²
Coeficiente dilatación térmica	0,000023 /°C

Este conductor cumple con la capacidad de transferencia de potencia requerida donde la temperatura en el conductor no sobrepasa los 50 °C cuando la temperatura ambiental es de 35 °C.

Del análisis realizado en el documento DI-CMP-06-L2-ITE-004, se concluye que la línea Cardones-Cerro Negro Norte no requiere cable de guardia como elemento de protección para eventuales descargas atmosféricas.

La línea de transmisión debe llevar cable de comunicación tipo OPGW el cual tiene las siguientes características:

Tipo	Cable tipo OPGW 18 SMF
Diámetro nominal del cable	13.7 mm (máximo)
Sección metálica	18.52 mm ² (mínima)
Resistencia a la rotura	7.000 Kg. (máximo)
Temperatura máxima soportable sin degradación de la fibra	180 °C

Estimando un vano promedio de 450 metros se determinó un valor de flecha igual a 14,42 metros considerando la temperatura del conductor de 37°C para una potencia de 85MVA, de esta manera se puede concluir que la franja de seguridad mínima a cumplir debe ser de 33,5 metros.

Para el estudio de campo eléctrico y campo magnético se consideran las diferentes disposiciones típicas de estructuras utilizadas en el trazado de la línea. Las estructuras de suspensión, anclaje y remate serán estructuras metálicas enrejadas de acero galvanizado cuyas de altura y silueta se pueden apreciar en el anexo 1.

- Estructura de Suspensión Tipo S220.2
- Estructura de Anclaje Tipo A220.2
- Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2

Para el estudio de efectos derivados del fenómeno corona se considera habitualmente condiciones de mal tiempo, específicamente lluvia intensa, que corresponden a las condiciones bajo las cuales se produce una mayor manifestación de este fenómeno. Sin embargo, dada la ubicación de la línea, en la tercera región del país, para evaluar estos efectos se tomarán los valores con buen tiempo.

1.3. Estimación de la Magnitud del Campo Eléctrico a 1 metro de Altura sobre el Suelo, Provocado por la Línea de 220 kV. Perfil Transversal a la Línea

Ocupando la metodología de elementos finitos [1], se evalúa el campo eléctrico en el entorno de la línea de 220 kV, en dirección transversal a su eje y a un metro de altura sobre el nivel del terreno, condiciones normalizadas. Para las distintas configuraciones, los resultados se muestran en el Apéndice 1.8.1.

En la Tabla siguiente se presenta el máximo valor de campo eléctrico encontrado a 1,0 metro sobre el suelo, en las diversas estructuras y condiciones que se indica.

Tabla 1: Valor máximo de campo eléctrico encontrado a 1,0 metro sobre el suelo

Estructura	Campo eléctrico máximo [V/m]
Estructura de Suspensión Tipo S220.2	
Máximo en la fases superiores	1260
Máximo en fases central y superior	1180
Máximo en fase inferiores	2220
Estructura de Anclaje Tipo A220.2	
Máximo en la fase superiores	2980
Máximo en fases central y superior	2630
Máximo en fases inferiores	4980
Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	
Máximo en la fase superiores	2845
Máximo en fases central y superior	4550
Máximo en fases inferiores	3750

Estos valores son inferiores al valor establecido internacionalmente como máximo tolerable para público en general, en forma permanente, que es **5.000 V/m** (Ver Anexo V). Además estos valores máximos se encuentran dentro de la franja de servidumbre, pero en el borde de la franja (a 30 m del eje de la línea aproximadamente) se observa de los gráficos del Apéndice 1.8.1 que en todos los casos, los valores son inferiores a **500 V/m** y en consecuencia no representan riesgo para personas.

1.4. Estimación de la Magnitud del Campo Magnético a 1 metro de Altura sobre el Suelo, Provocado por la Corriente de Régimen Permanente. Perfil Transversal a la Línea

Para este estudio se consideró 223 Amperes la corriente del conductor de la línea de 220 kV. En el Apéndice 1.8.2 se incluye el análisis de régimen permanente con dicho valor de corriente para las diferentes configuraciones de estructuras de la línea. El análisis se realiza considerando el instante de máxima corriente efectiva por fase.

En la Tabla siguiente se presenta el máximo valor de campo magnético encontrado a 1,0 metro sobre el suelo, en las diversas estructuras y condiciones que se indica.

Tabla 2: Valor máximo de campo magnético encontrado a 1,0 metro sobre el suelo

Estructura	Campo magnético Máximo Micro Tesla
Estructura de suspensión Tipo S220.2	
Máximo en la fases superiores	0,840
Máximo en fases central y superior	0,755
Máximo en fases inferiores	0,840
Estructura de anclaje Tipo A220.2	
Máximo en la fases superiores	1,810
Máximo en fases central y superior	1,750
Máximo en fases inferiores	1,810
Estructura de Anclaje y remate Tipo R220.2	
Máximo en la fases superiores	1,790
Máximo en fases central y superior	1,130
Máximo en fases inferiores	1,790

Comparando los valores anteriores con los valores máximos recomendados por normas internacionales para exposición de personas a campo magnético, se observa que en todas las situaciones estos valores son inferiores a **100 micro Tesla**, valor límite para público y exposición permanente (ver Anexo V). Nuevamente se destaca que estos valores máximos se encuentran dentro de la franja de servidumbre, pero en el borde de la franja (a 30 m del eje de la línea aproximadamente) se observa de los gráficos del Apéndice 1.8.2 que en todos los casos, los valores son inferiores a **0,6 micro Tesla** y en consecuencia no representan riesgo para personas

1.5. Efectos Derivados del Fenómeno Corona

La descarga corona en líneas de transmisión de alta tensión corresponde a descargas eléctricas parciales en el aire alrededor de los conductores de las líneas aéreas de alta tensión, producidas por la alta magnitud de campo eléctrico que provoca ionización del aire. La literatura técnica pertinente indica que tanto los niveles de ruido como las concentraciones de ozono alrededor de líneas de alta tensión no tienen consecuencias dañinas para la salud de las personas.

1.5.1 Estimación de Niveles de Perturbaciones por Efecto Corona

Según norma ANSI el valor de radio interferencia característico de una línea está normalizado, para medida o estimación, a una frecuencia de 1,0 MHz; a una distancia de 15 metros de la fase externa y una altura de antena de 2 metros; debe evaluarse para mal tiempo (lluvia intensa) pues en esta condición se produce el máximo nivel generado. Existen factores de corrección para evaluar la perturbación a otras distancias y otras frecuencias.

La referencia [3], indica el nivel de perturbación radio eléctrica aceptable a 1 MHz, y a 15 m de distancia lateral de la fase externa, información que se reproduce en la siguiente figura.

Figura 1: Nivel de perturbación radio eléctrica aceptable a 1 MHz

Tableau 5: Niveau de perturbation radiophonique acceptable par beau temps mesuré à 1 MHz à 15 mètres de la phase externe

Tension électrique nominale entre phases (kV)	Intensité de champ du bruit électromagnétique (dB au-dessus de 1 μ V/m)
dessous 70	43
70-200	49
200-300	53
300-400	56
400-600	60
au-dessus de 600	63

Para una línea de 220 kV, el límite correspondiente es **53 [db/(1 μ V/m)]**

En la tabla siguiente se entregan los valores resultantes de la estimación de radio interferencia en el borde de la franja de servidumbre para cada una de las configuraciones analizadas, empleando el método aproximado propuesto por CIGRE y aplicando el factor de corrección por frecuencia y por distancia, para tiempo seco. El detalle se encuentre en el Apéndice 1.8.3.

Tabla 3: Valor máximo de perturbaciones estimadas a 15 m de la fase externa (distancia lateral)

Estructura	Radio interferencia [dB/ 1 μ V/m] A 1,0 MHz	Ruido acústico dB(A)
Estructura de Suspensión Tipo S220.2	41,25	44,02
Estructura de anclaje Tipo A220.2	42,14	44,16
Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	42,79	44,34

La estimación indica que la radio interferencia generada por corona no supera el límite propuesto de **53 dB/1 μ V/m**, desde 15 metros del conductor lateral, en condiciones de buen tiempo.

Igualmente, el ruido acústico está por debajo de los **51 dB(A)** recomendados en la referencia [5].

1.5.2 Ozono

El ozono (O_3) es una forma de oxígeno altamente reactivo que se presenta en forma natural en la estratósfera (capa atmosférica entre los 11 y los 16 kilómetros sobre la superficie de la tierra). Proporciona a la tierra una pantalla protectora contra los dañinos efectos para la salud humana y el ambiente de la radiación ultravioleta. Rápidamente se recombina a O_2 .

Equipos eléctricos tales como fotocopiadoras, televisores o cualquier artefacto que usa alto voltaje para funcionar puede producir ozono, un gas incoloro que tiene un olor picante. Las descargas eléctricas en el aire convierten moléculas de oxígeno en ozono.

En condiciones de buen tiempo no se genera ozono. Bajo ciertas condiciones de tiempo que causan corona en los conductores de líneas de alta tensión, ocurre la formación de ozono. Sin embargo, ya que el ozono es un gas muy inestable, rápidamente se decompone en compuestos inofensivos de oxígeno en el aire y no debiera esperarse efectos biológicos.

Según la literatura [4], investigaciones efectuadas han determinado concentraciones de 0,5 partes por 100 millones bajo una línea en las condiciones más desfavorables y 10 veces inferior para condiciones normales. La concentración de ozono que se encuentra bajo las líneas de alta tensión es entonces **20 veces inferior** al admitido por normas, y en todo caso, muy inferior al existente en una cabina de tratamiento por radiación ultravioleta, o en la proximidad de “ozonizadores”, comercializados como purificadores de aire.

1.6. Conclusiones

De los resultados obtenidos en las simulaciones efectuadas, se concluye:

- La magnitud de campo eléctrico máximo existente a un metro de altura sobre el suelo en el borde de la franja de la línea de 220 kV doble circuito, Cardones - Cerro Negro Norte, no supera 4980 Volt/m, por tanto inferior al límite de **5000 V/m** considerado internacionalmente como seguro para las personas. Este valor máximo se presenta además en el interior de la franja de servidumbre, reduciéndose notablemente hacia el borde, donde no supera en ningún caso **500 V/m** y por tanto no representa ningún riesgo para personas.
- La magnitud de campo magnético máximo existente a un metro de altura sobre el suelo en torno a la línea de 220 kV operando con corriente nominal de 223 Amperes equilibrados en régimen permanente en sus dos circuitos, es de **1,810 micro Tesla**, siendo inferior al límite de 100 micro Tesla considerado internacionalmente como seguro para las personas. El valor máximo indicado para la línea se presenta además en el interior de la franja de servidumbre, reduciéndose

notablemente hacia el borde, donde no supera **0,6 micro Tesla**, no representando ningún riesgo para personas.

- El ruido de radio frecuencia máximo estimado en condiciones normalizadas es **42,79 dB/ 1 μ V/m** y está bajo el valor 53 dB/ 1 μ V/m propuesto como límite tolerable para el nivel de voltaje de la línea.
- El ruido acústico máximo es de **44,34 dB(A)**, también en condiciones normalizadas, está por debajo de los 51 dB(A) recomendados internacionalmente.

1.7. Referencias

- [1] Students' QuickField (TM) Finite Element Analysis System. Version 3.4 User's Guide. Copyright © Tera Analysis Company, 1995.
- [2] N. Morales, "Fenómeno corona en líneas de transmisión y sus efectos". Publicación T(P)/9, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Noviembre 1986.
- [3] Maruvada, P. Sarma, "Consideration of radio interference and audible noise in the design of high-voltage transmission lines". Artículo presentado en conferencia Copimera en San Juan, Puerto Rico, 3-8 Octubre 1993
- [4] Electricite de France. Les lignes de transport et l'Environnement.
- [5] Transmission Line Reference Book, 345 kV and above, Electric Power Research Institute, 1982".

1.8. Apéndices

1.8.1 Estudio del Campo Eléctrico

En este Apéndice se entrega los resultados de la simulación efectuada con el programa que aplica el método de elementos finitos, para evaluar campo eléctrico en la línea de transmisión de doble circuito en 220 KV S/E Cardones – Cerro Negro Norte – Totalillo; se analiza las configuraciones de estructuras que se indican:

- Estructura de Suspensión Tipo S220.2
- Estructura de Anclaje Tipo A220.2
- Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2

Se considera sistema equilibrado en voltajes y se efectúa el análisis de todas las combinaciones de fases que puedan representar efectos de distinta magnitud, desde el punto de vista del impacto ambiental en la vecindad de la línea. Se evalúa el campo en el centro del vano, es decir, considerando la flecha media.

La tabla resumen de los valores encontrados es el siguiente:

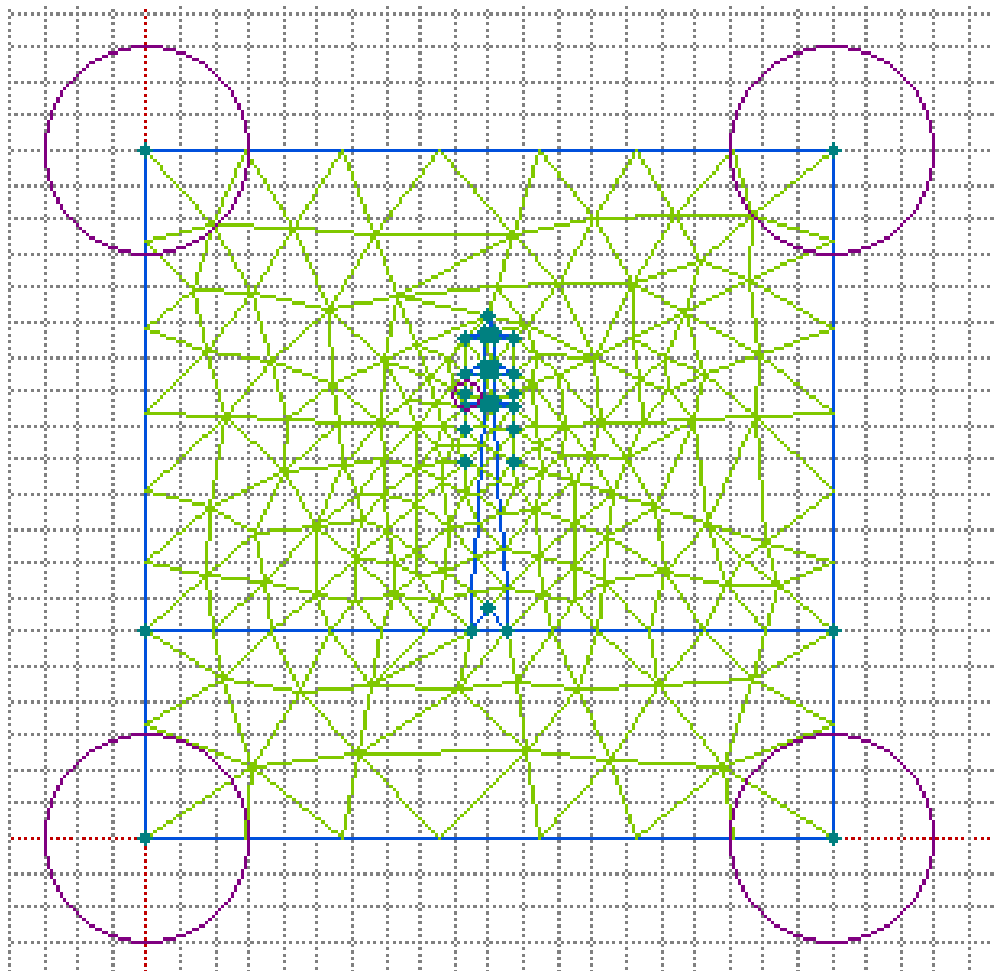
Tabla 4: Resumen

Estructura	Campo eléctrico máximo Vm
Estructura de Suspensión Tipo S220.2	
Máximo en la fases superiores	1260
Máximo en fases central y superior	1180
Máximo en fases inferiores	2220
Estructura de Anclaje Tipo A220.2	
Máximo en la fases superiores	2980
Máximo en fases central y superior	2630
Máximo en fases inferiores	4980
Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	
Máximo en la fases superiores	2845
Máximo en fases central y superior	2500
Máximo en fases inferiores	4550

El detalle del análisis se muestra a continuación.

1.8.1.1 Estructura de Suspensión Tipo S220.2

Figura 2: Modelamiento con elementos finitos de silueta de torre. Definición de dimensiones del enmallado de triángulos



a) Máximo de tensión en las fases superiores de ambos circuitos

Figura 3: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases superiores

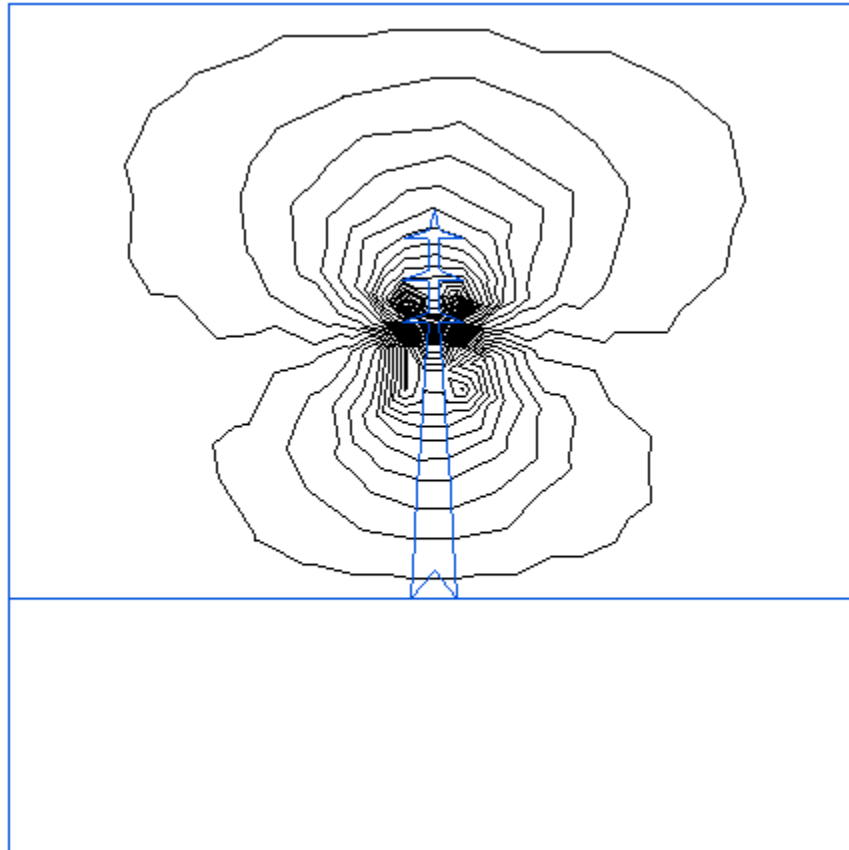
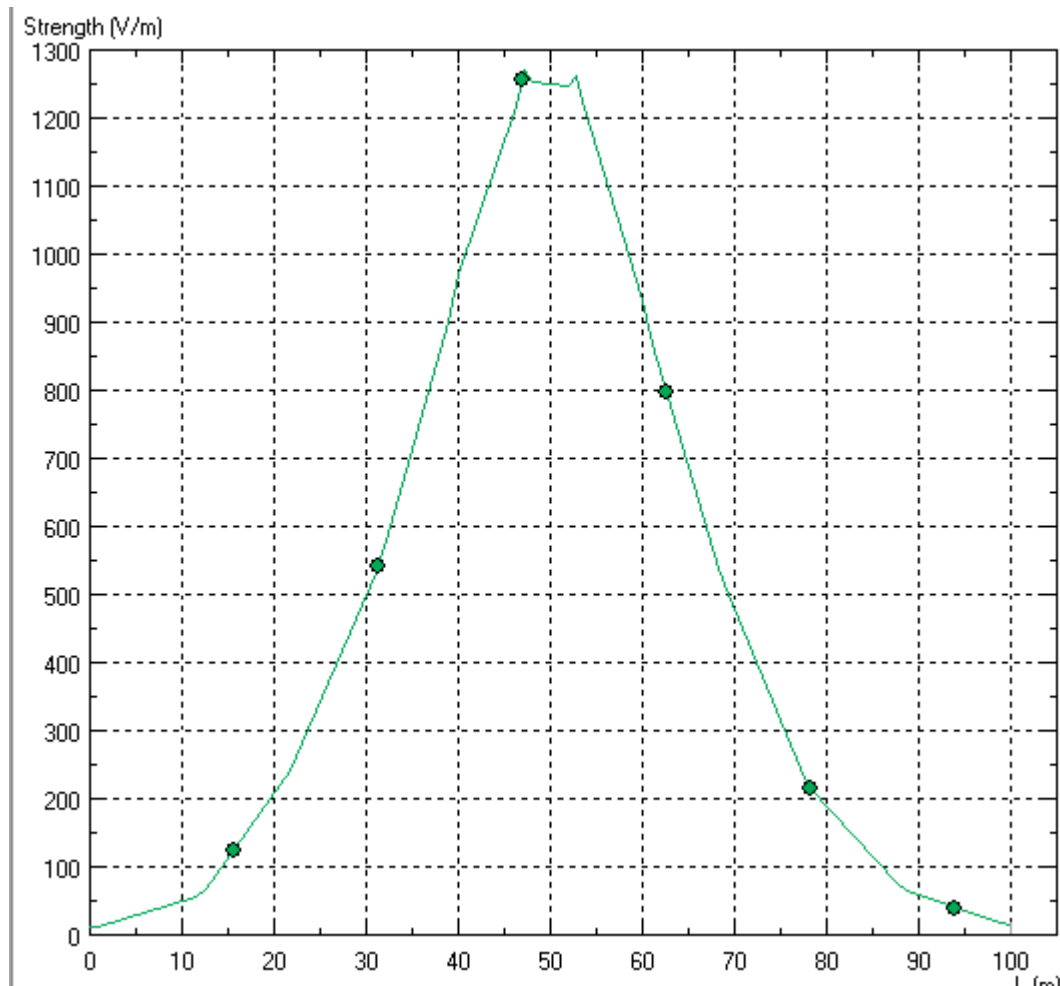


Figura 4: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases superiores.

L=50: Eje de la línea



b) Máximo de tensión en fases central y superior

Figura 5: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases central y superior

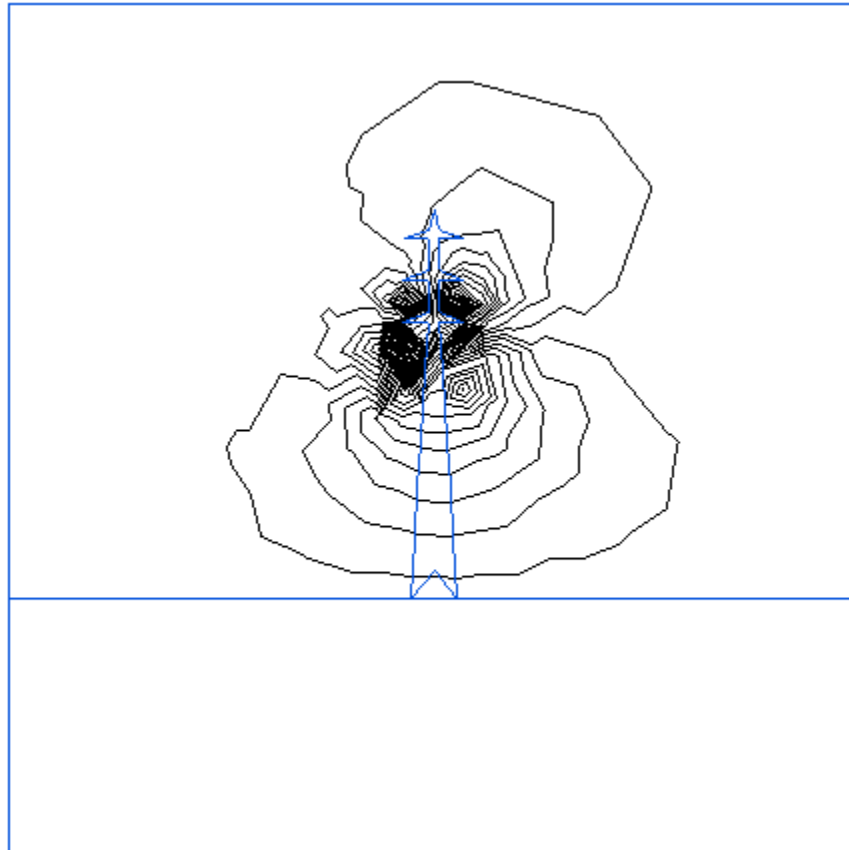
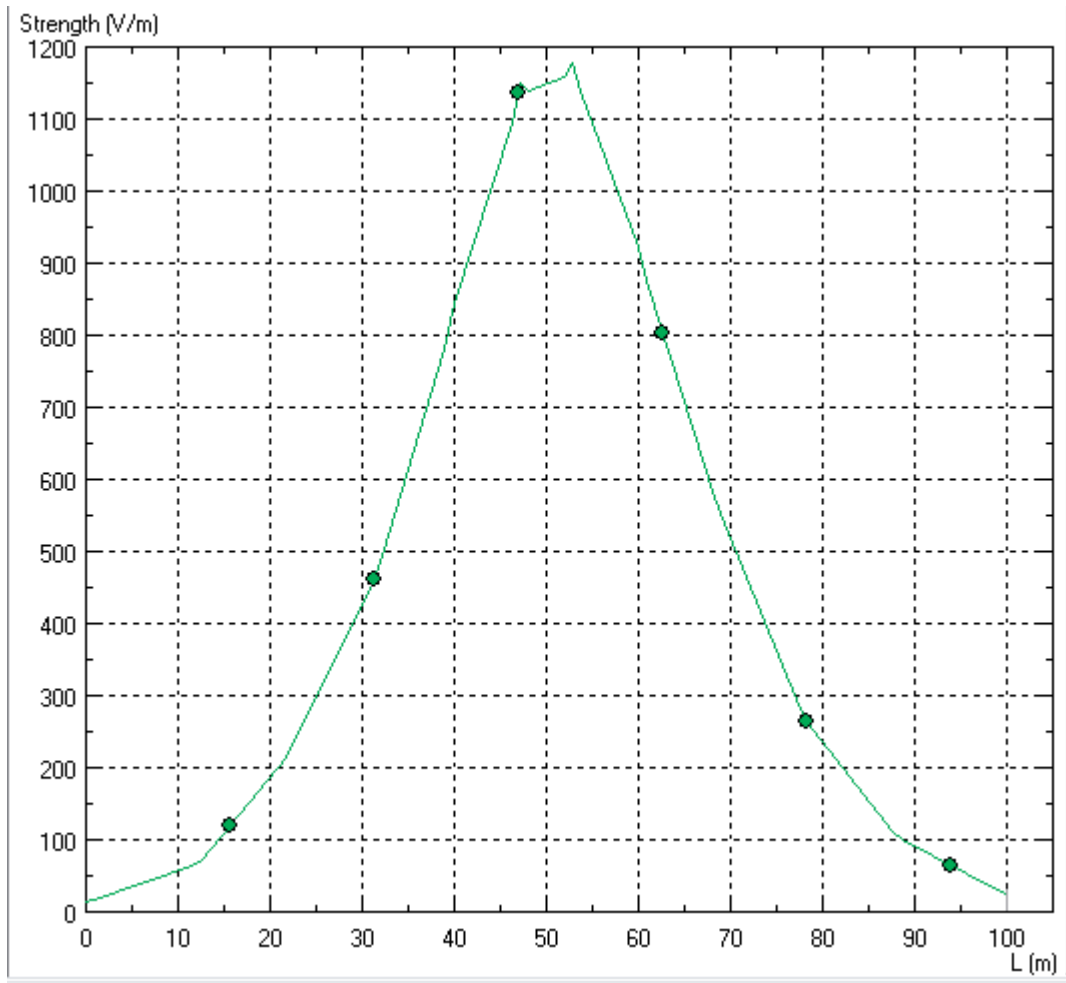


Figura 6: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases central y superior



c) Máximo de tensión en fases inferiores en ambos circuitos

Figura 7: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases inferiores

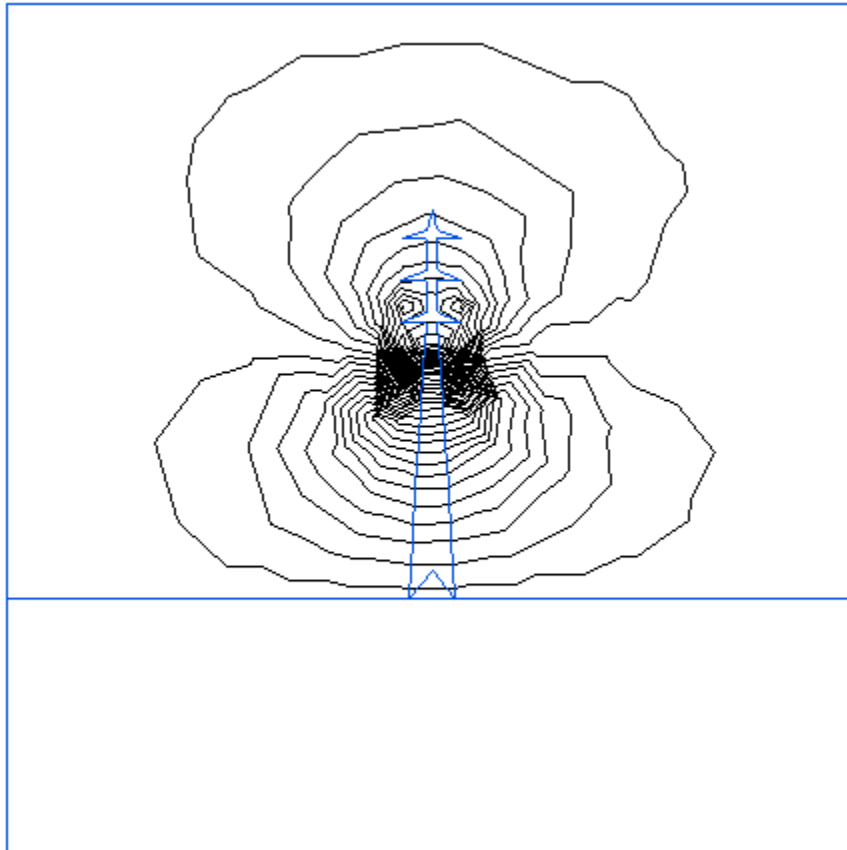
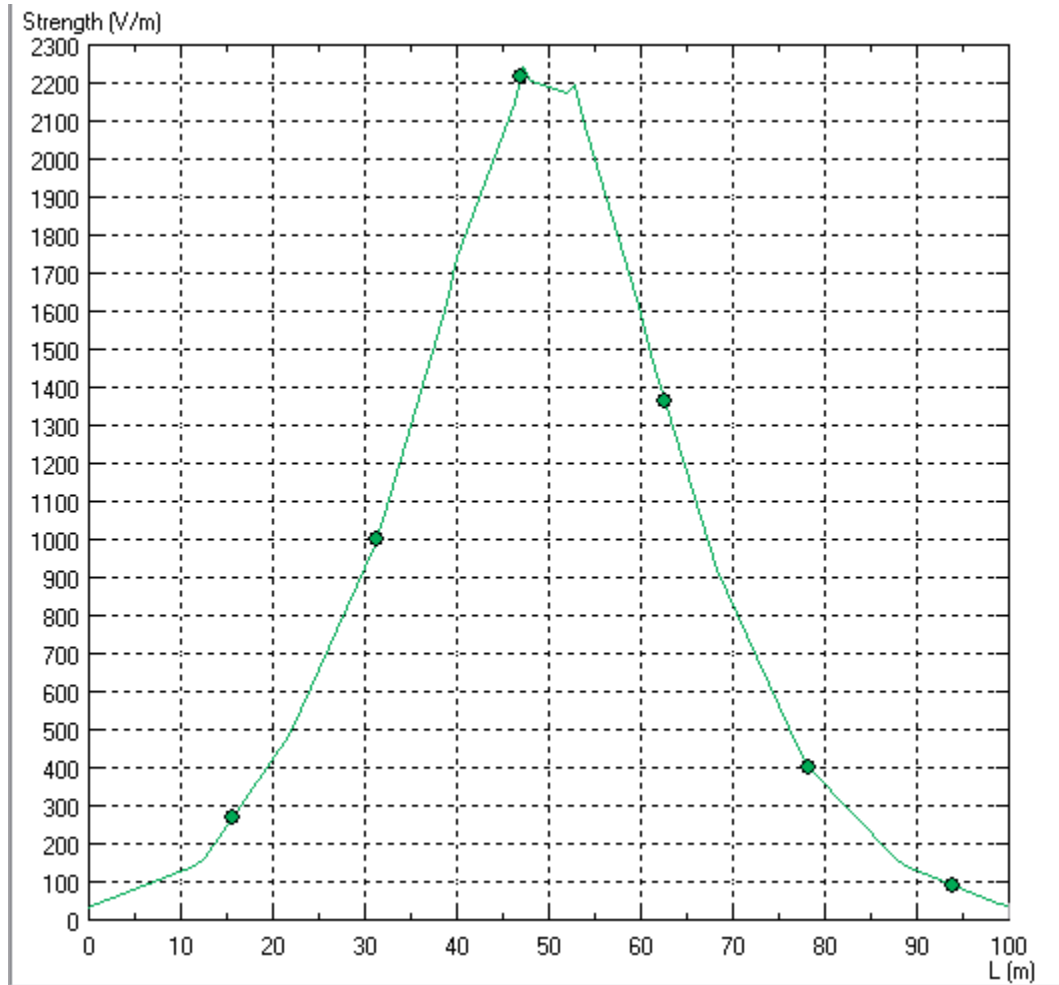
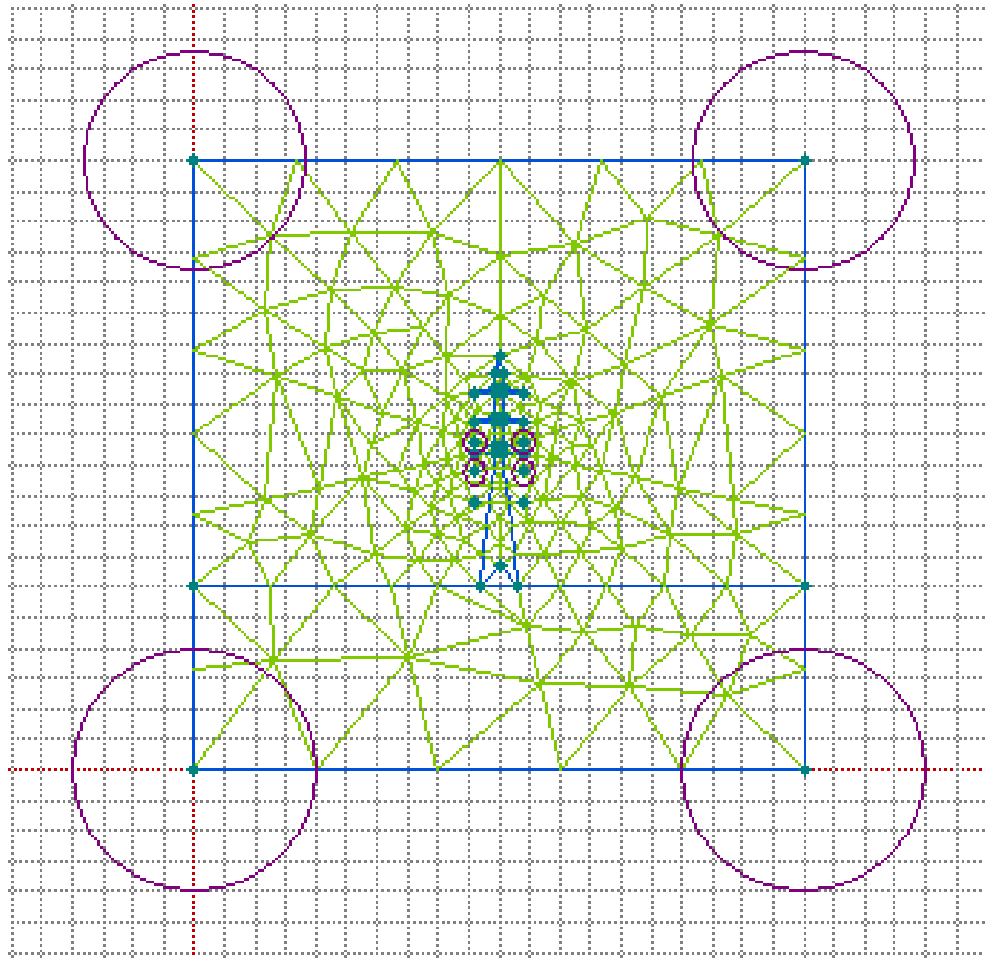


Figura 8: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases inferiores



1.8.1.2 Estructura de Anclaje Tipo A220.2

Figura 9: Modelamiento con elementos finitos de silueta de torre. Definición de dimensiones del enmallado de triángulos



a) Máximo de tensión en las fases superiores en ambos circuitos

Figura 10: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases superiores

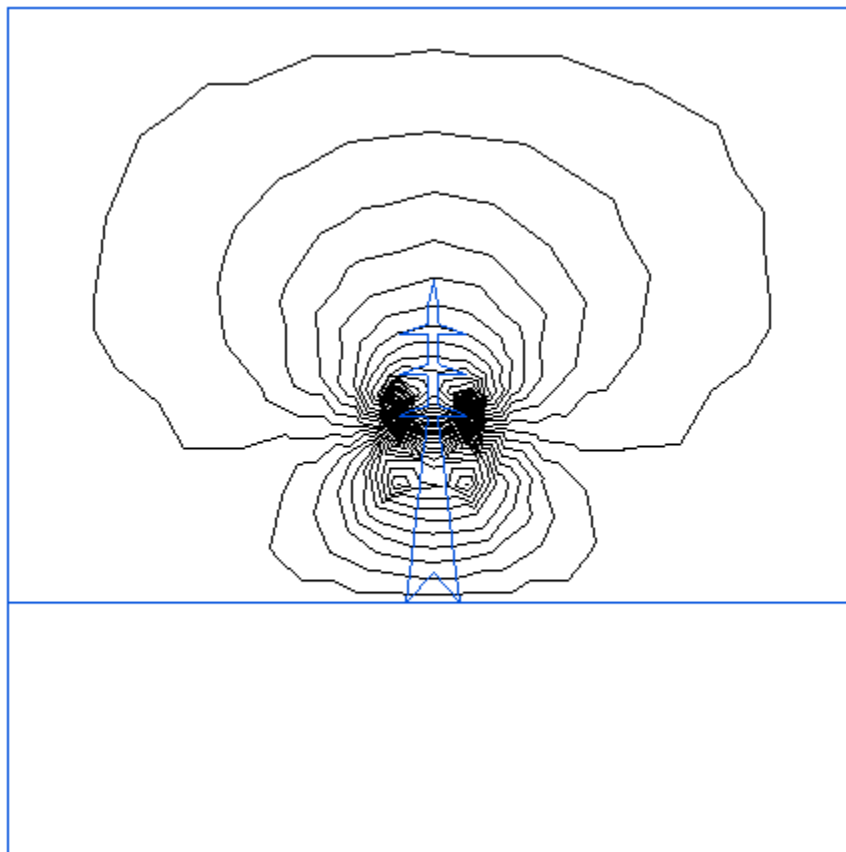
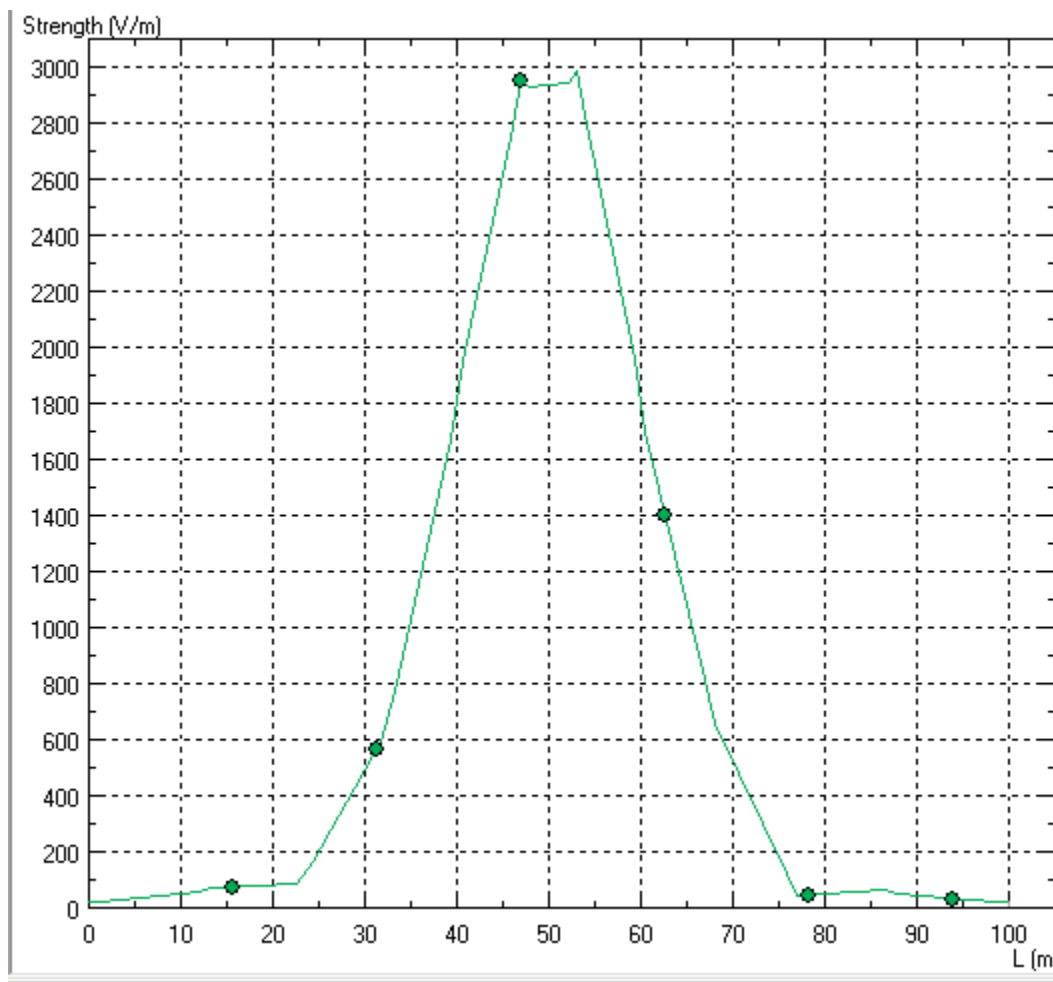


Figura 11: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases superiores.

L=50: Eje de la línea



b) Máximo de tensión en fases central y superior

Figura 12: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases central y superior

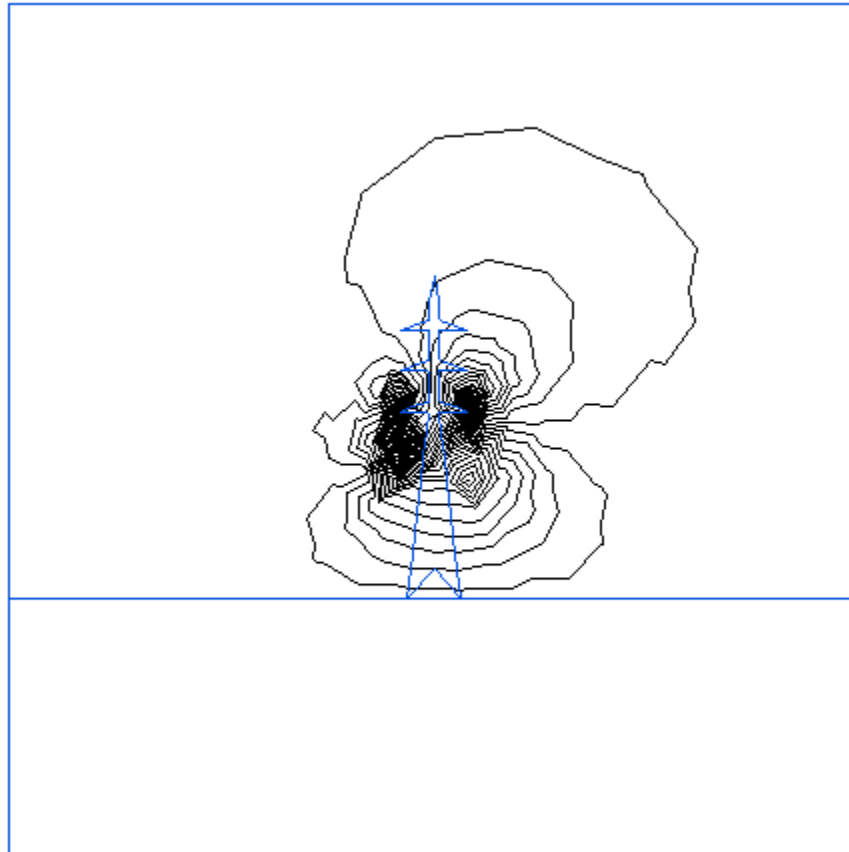
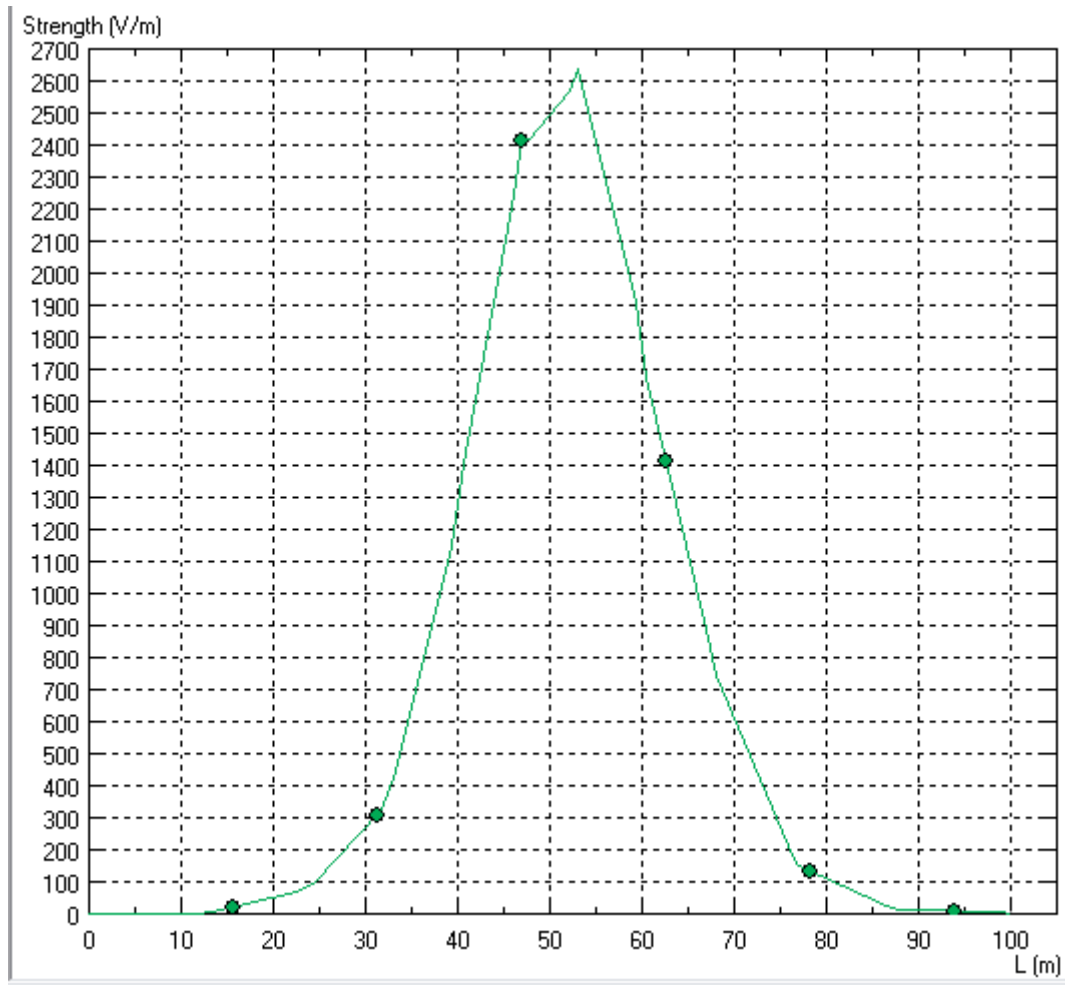


Figura 13: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases central y superior



c) Máximo de tensión en fases inferiores

Figura 14: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases inferiores

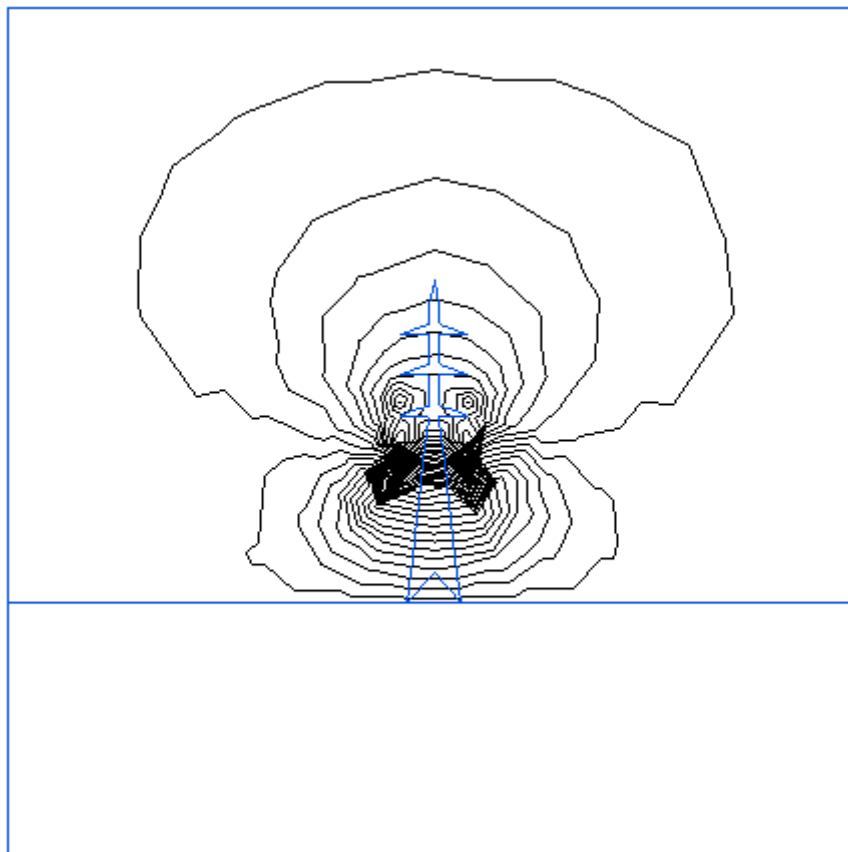
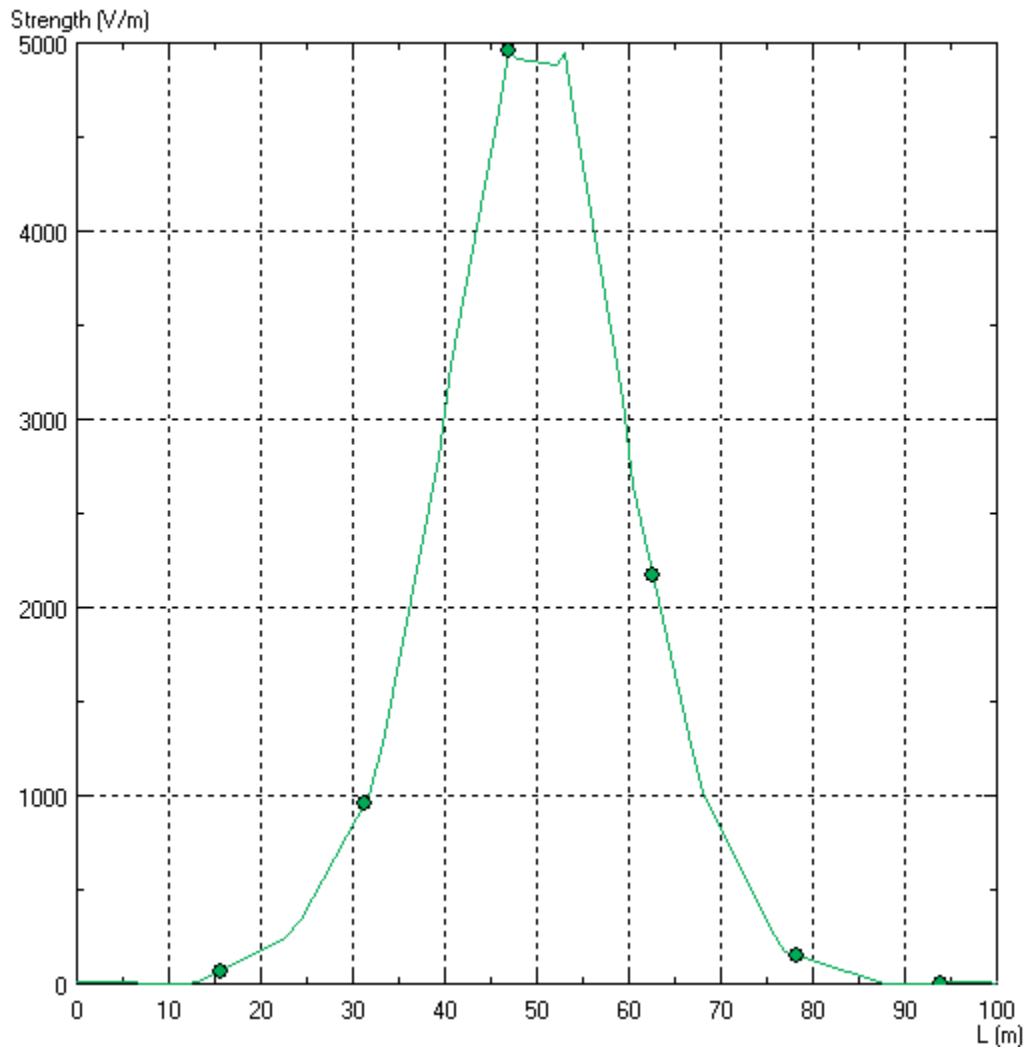
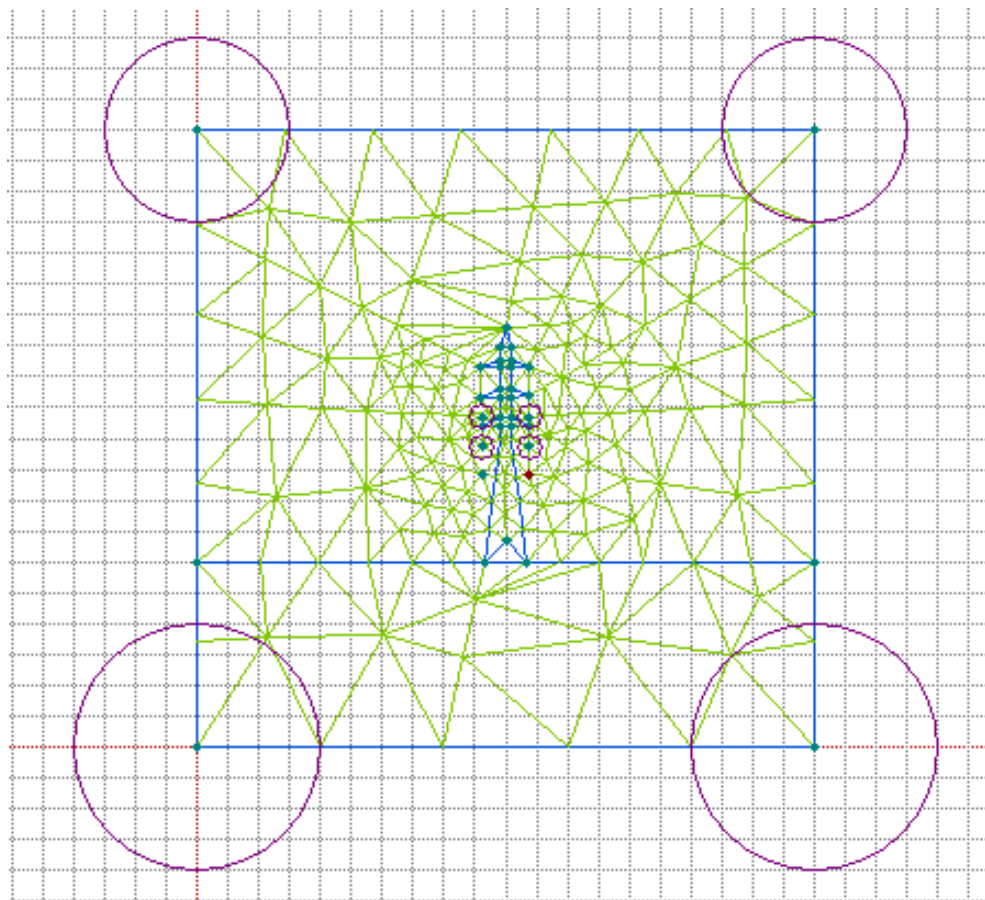


Figura 15: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases inferiores



1.8.1.3 Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2

Figura 16: Modelamiento con elementos finitos de silueta de torre. Definición de dimensiones del enmallado de triángulos



a) Máximo de tensión en las fases superiores de ambos circuitos

Figura 1.17: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases superiores

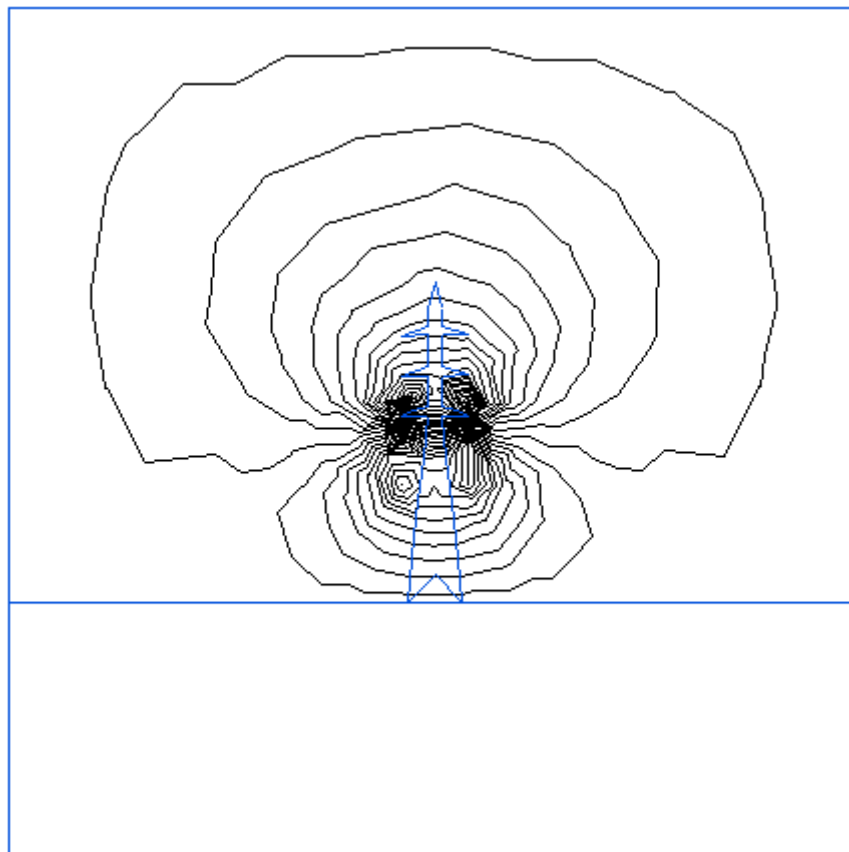
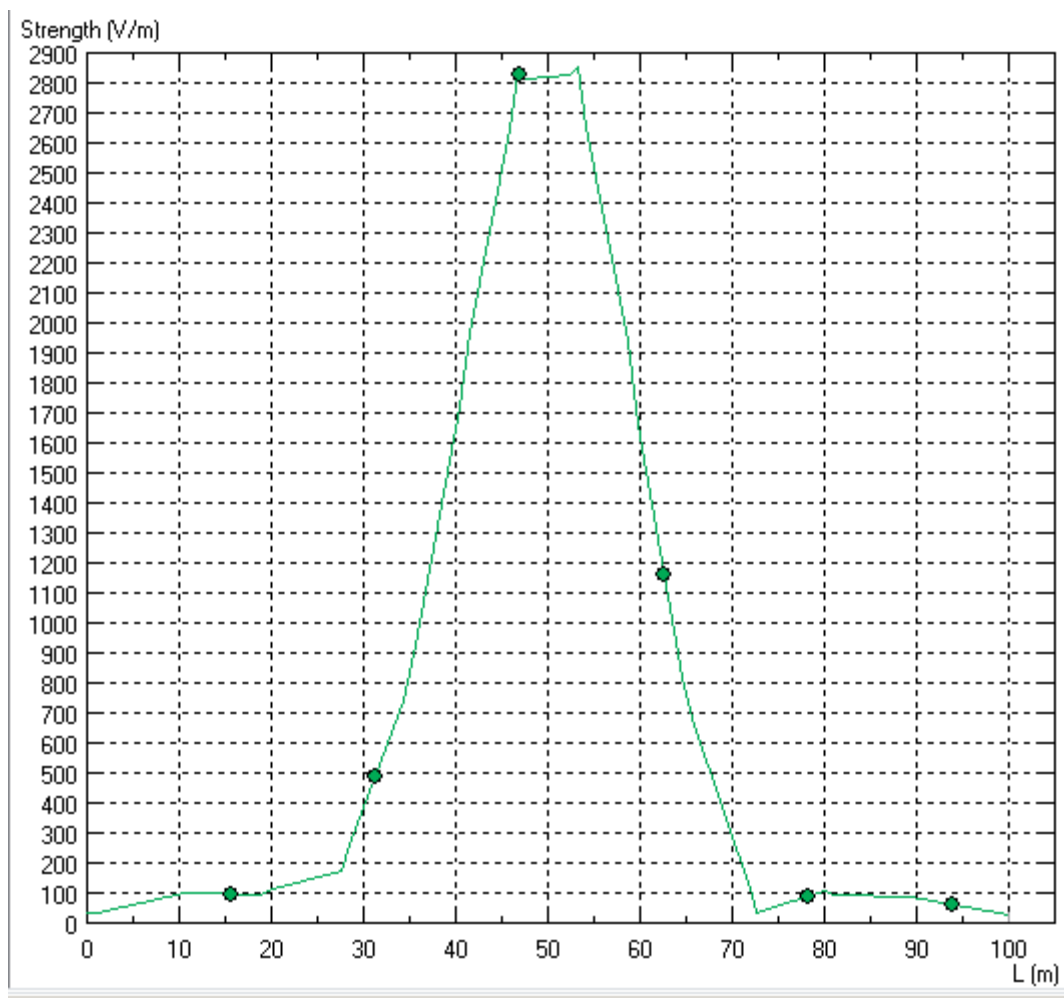


Figura 18: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases superiores.

L=50: Eje de la línea



b) Máximo de tensión en fases central y superior

Figura 19: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases central y superior

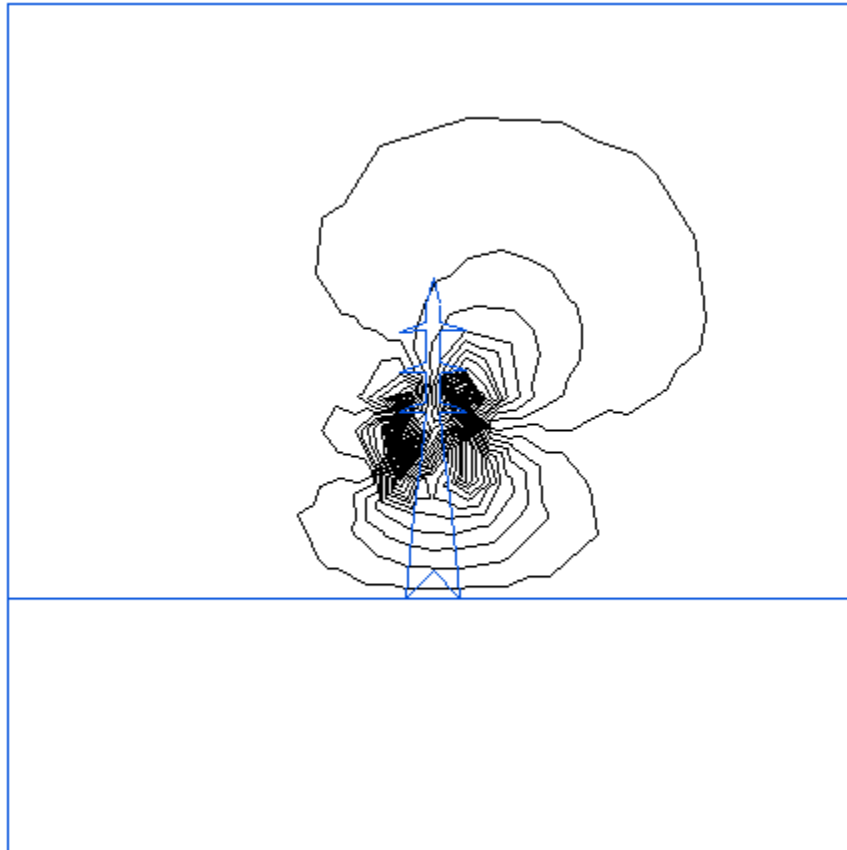
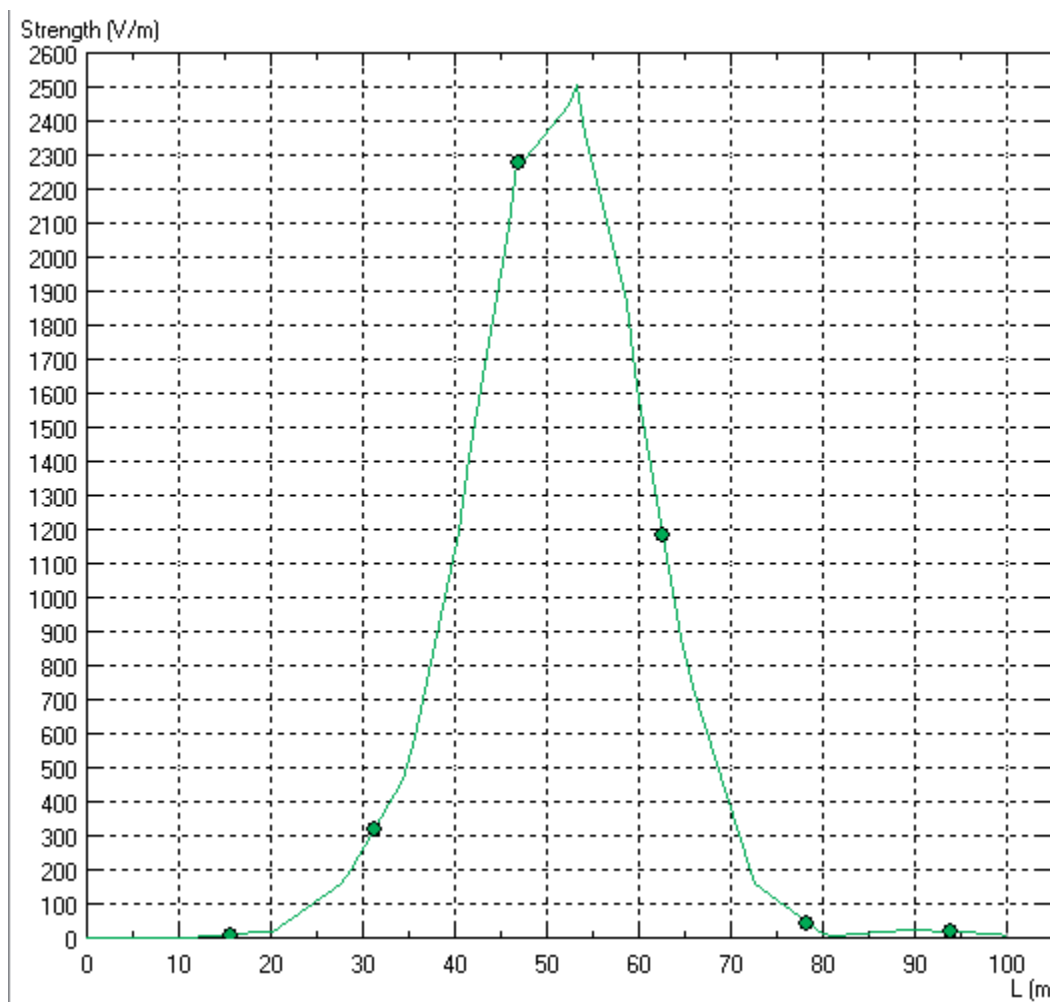


Figura 20: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases central y superior



c) Máximo de tensión en fases inferiores

Figura 21: Disposición de líneas equipotenciales. Máximo en fases inferiores

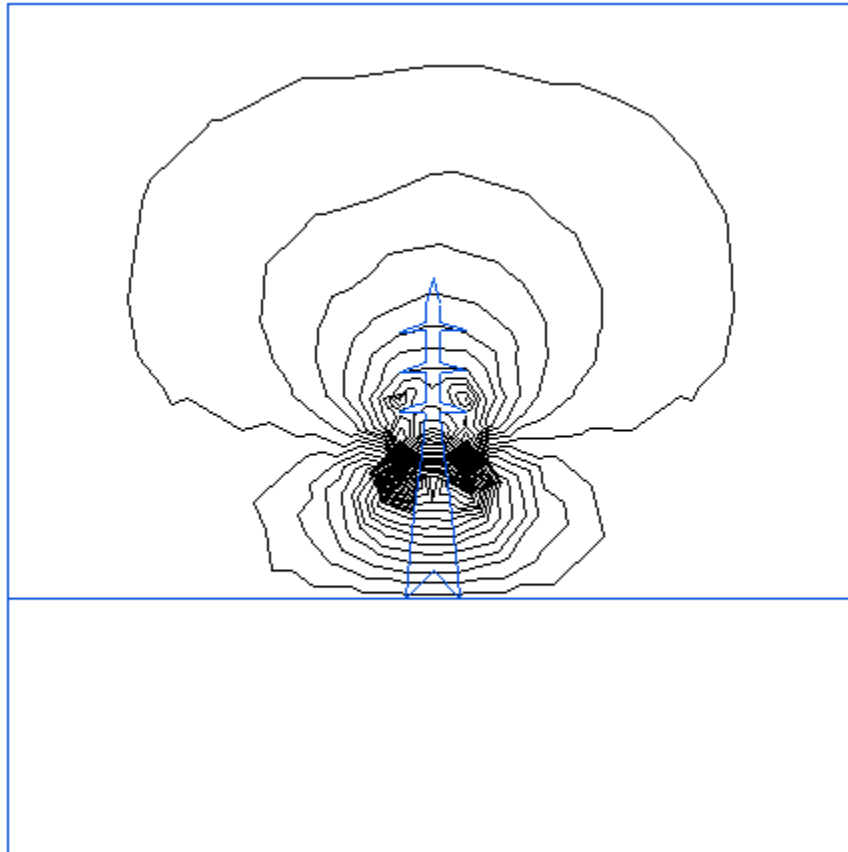
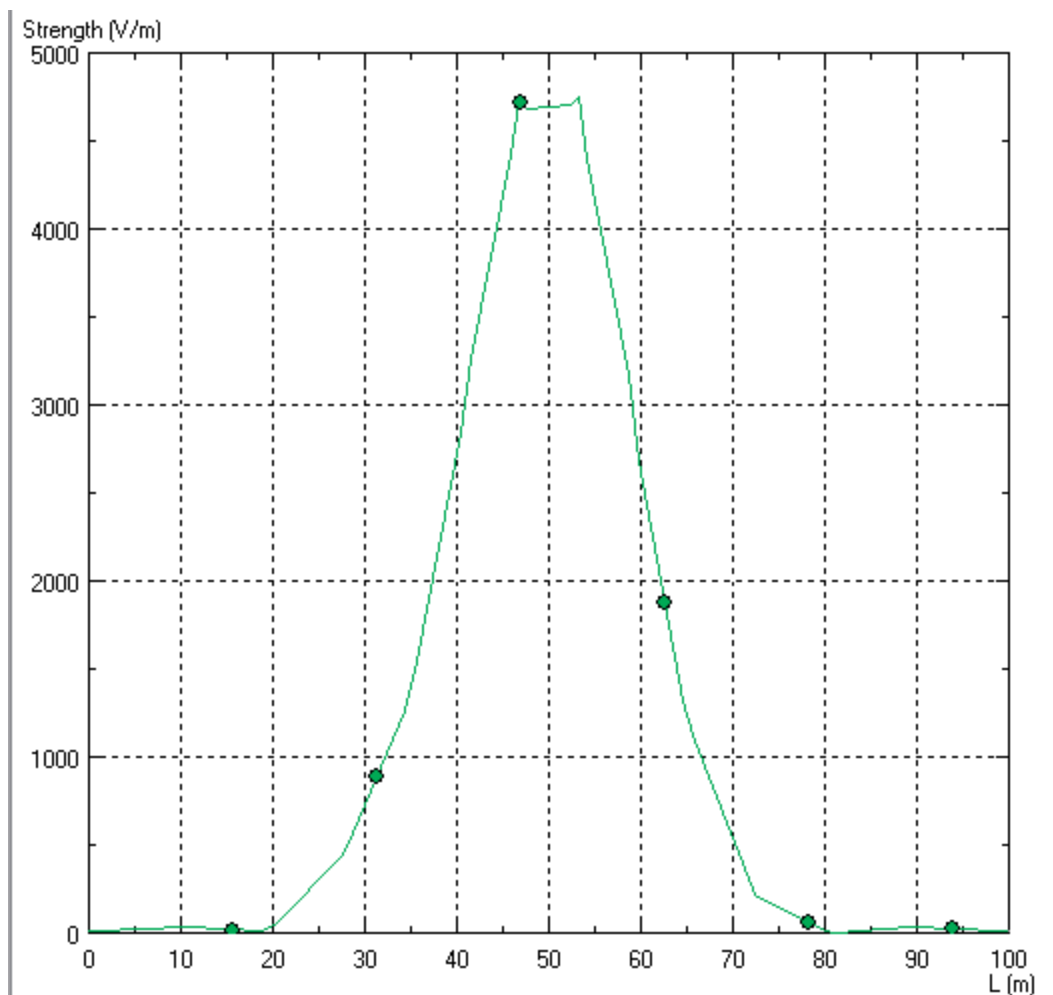


Figura 22: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Máximo en fases inferiores



1.8.2 Estudio de Campo Magnético

En este Apéndice se entrega los resultados de la simulación efectuada con el programa que aplica el método de elementos finitos, para evaluar campo magnético en la línea de transmisión de doble circuito en 220 KV S/E Cardones – Cerro Negro Norte - Totalillo. Se estudia las configuraciones de estructuras que se indican :

- **Estructura de suspensión Tipo S220.2**

- **Estructura de anclaje Tipo A220.2**
- **Estructura de Anclaje y remate Tipo R220.2**

Se ha considerado sistema equilibrado en corrientes con una magnitud de corriente de 223 Amperes por fase en cada circuito, correspondiente a la capacidad térmica del conductor empleado. Se ha efectuado el análisis de todas las combinaciones de fases que puedan representar efectos de distinta magnitud, desde el punto de vista del impacto ambiental en la vecindad de la línea.

En las figuras, la numeración de los conductores es de arriba – abajo y de izquierda a derecha, según el orden: Fase 1 - Fase 2 - Fase 3.

La línea transversal en la figura indica la superficie del suelo. La tabla resumen de los valores encontrados es el siguiente:

Tabla 5: Resumen

Estructura	Campo magnético máximo Micro Tesla
Estructura de Suspensión Tipo S220.2	
Máximo en las fases superiores	0,840
Máximo en fases central y superior	0,755
Máximo en fases inferiores	0,840
Estructura de Anclaje Tipo A220.2	
Máximo en la fases superiores	1,810
Máximo en fases central y superior	1,150
Máximo en fases inferiores	1,810
Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	
Máximo en la fases superiores	1,790
Máximo en fases central y superior	1,130
Máximo en fases inferiores	1,790

1.8.2.1 Estructura de Suspensión Tipo S220.2

a) Referencia de corriente en las fases superiores

Figura 23: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases superiores

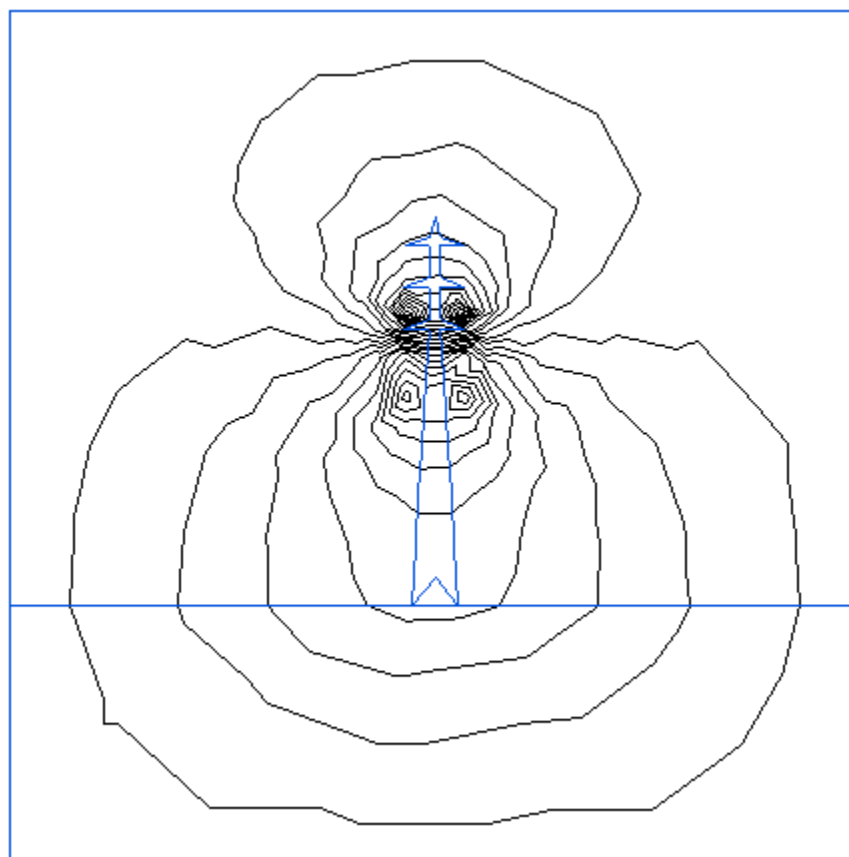
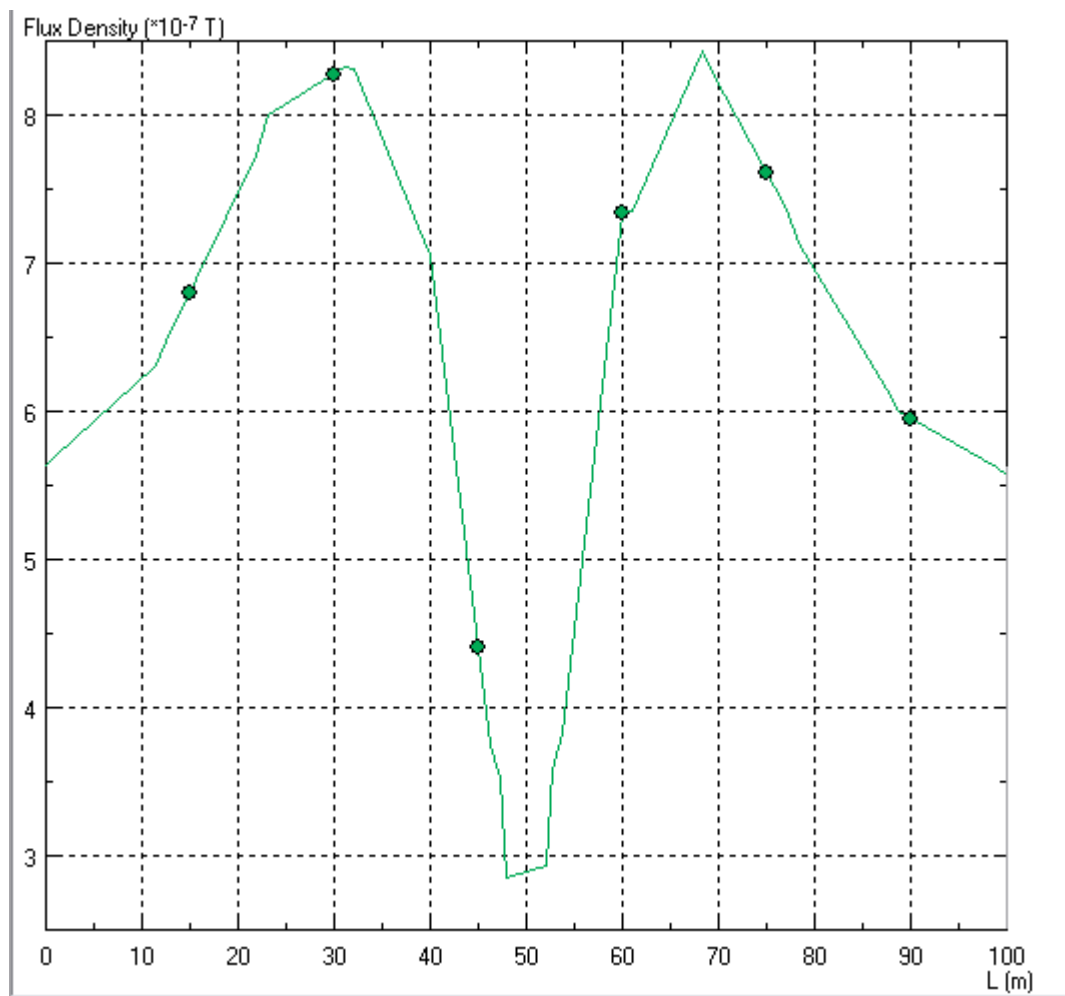


Figura 24: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases superiores.

L=50: Eje de la línea



b) Referencia de corriente en fases central y superior

Figura 25: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases central y superior

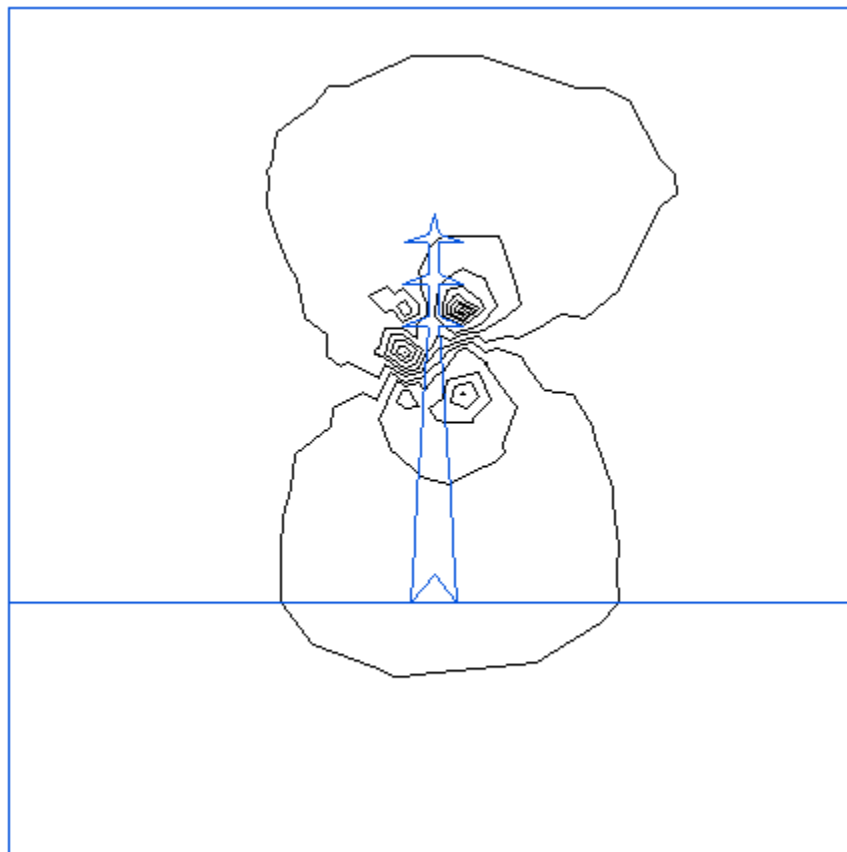
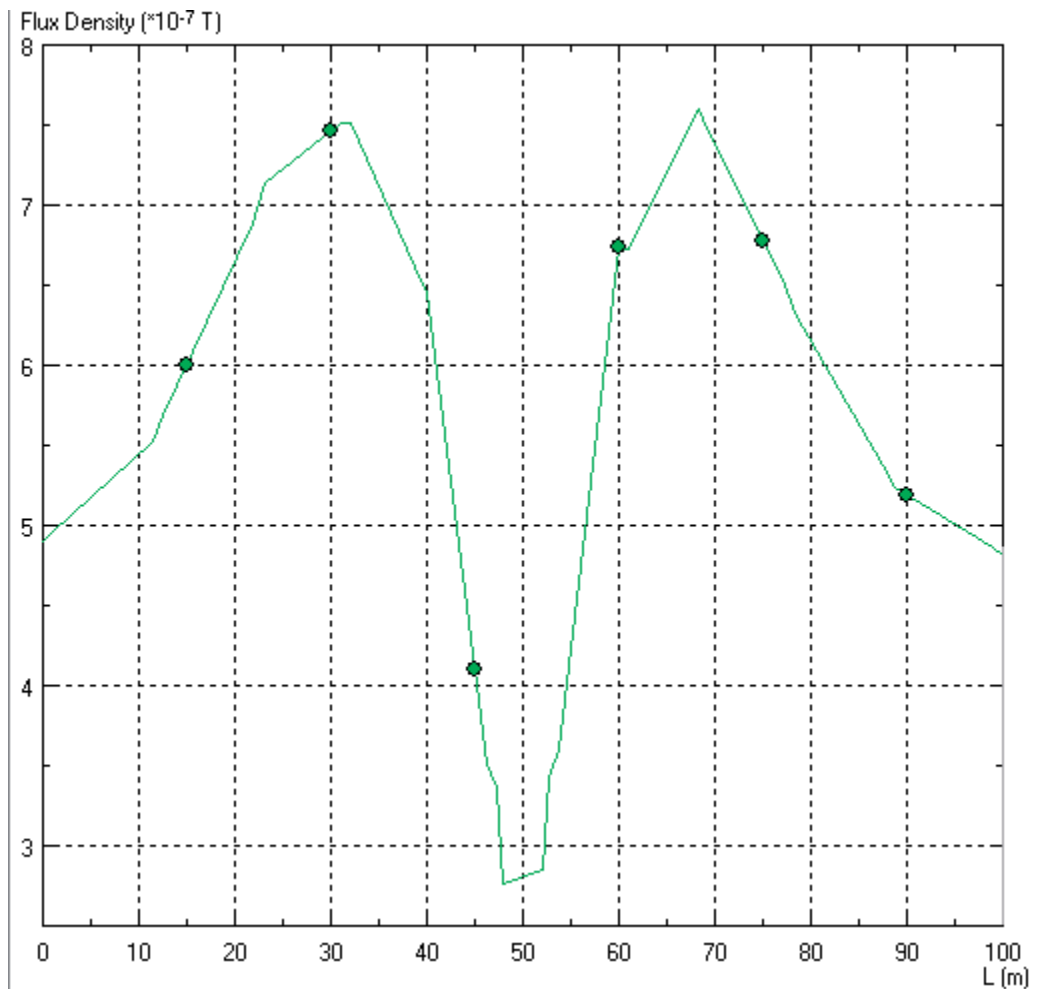


Figura 26: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases central y superior



c) Referencia de corriente en fases inferiores

Figura 27: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases inferiores

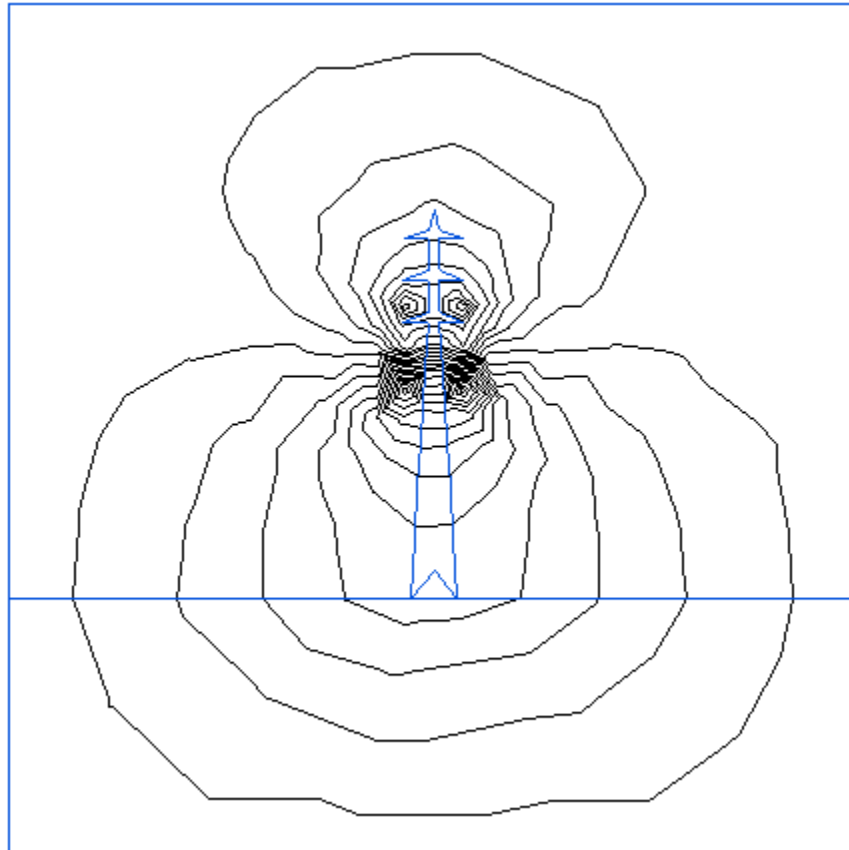
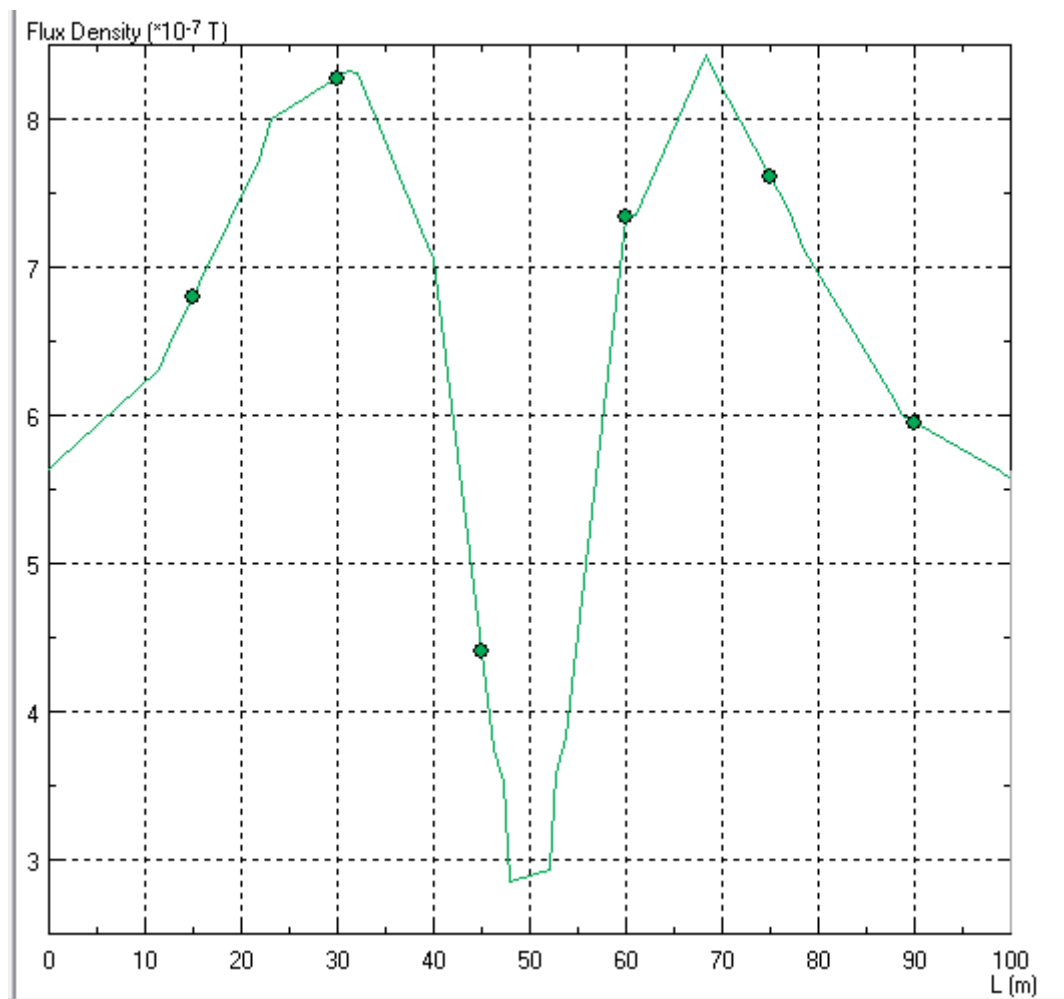


Figura 28: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases inferiores



1.8.2.2 Estructura de Anclaje Tipo A220.2

a) Referencia de corriente en la fases superiores

Figura 29: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases superiores

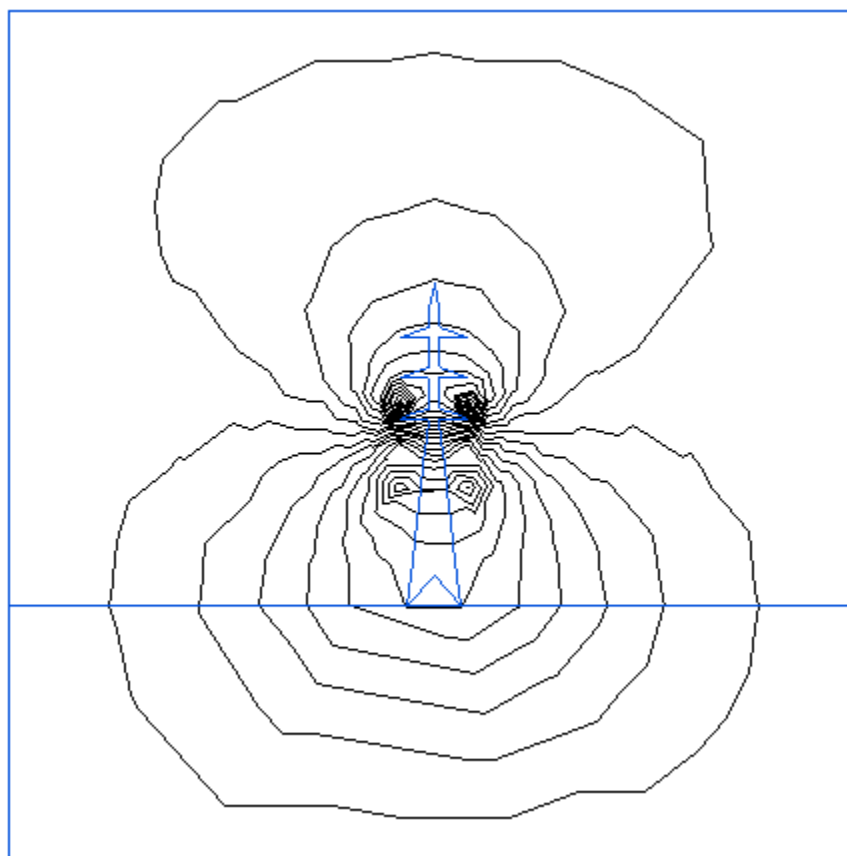
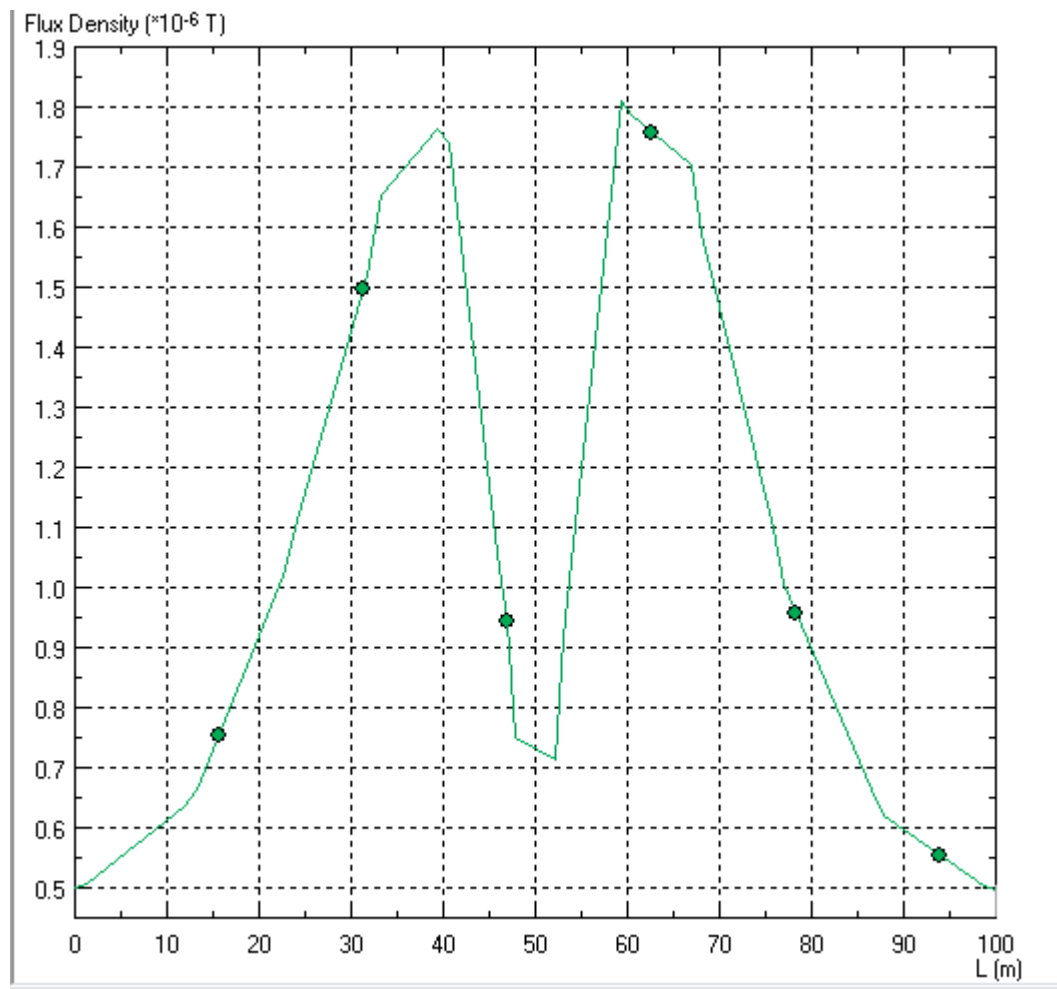


Figura 30: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases superiores.

L=50: Eje de la línea



b) Referencia de corriente en fases central y superior

Figura 31: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases central y superior

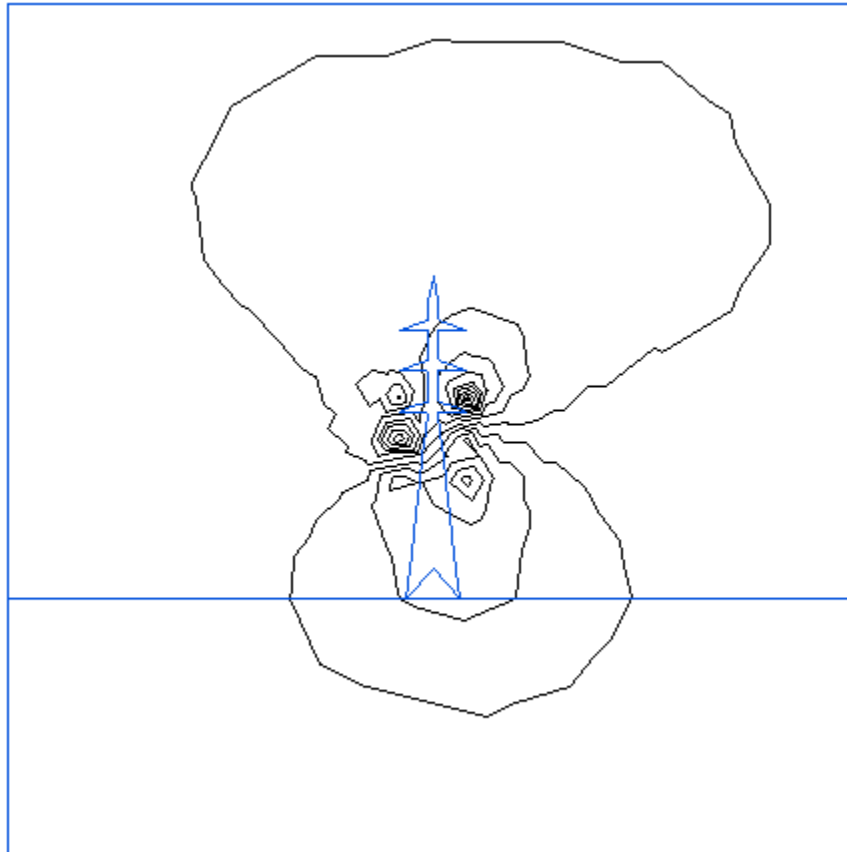
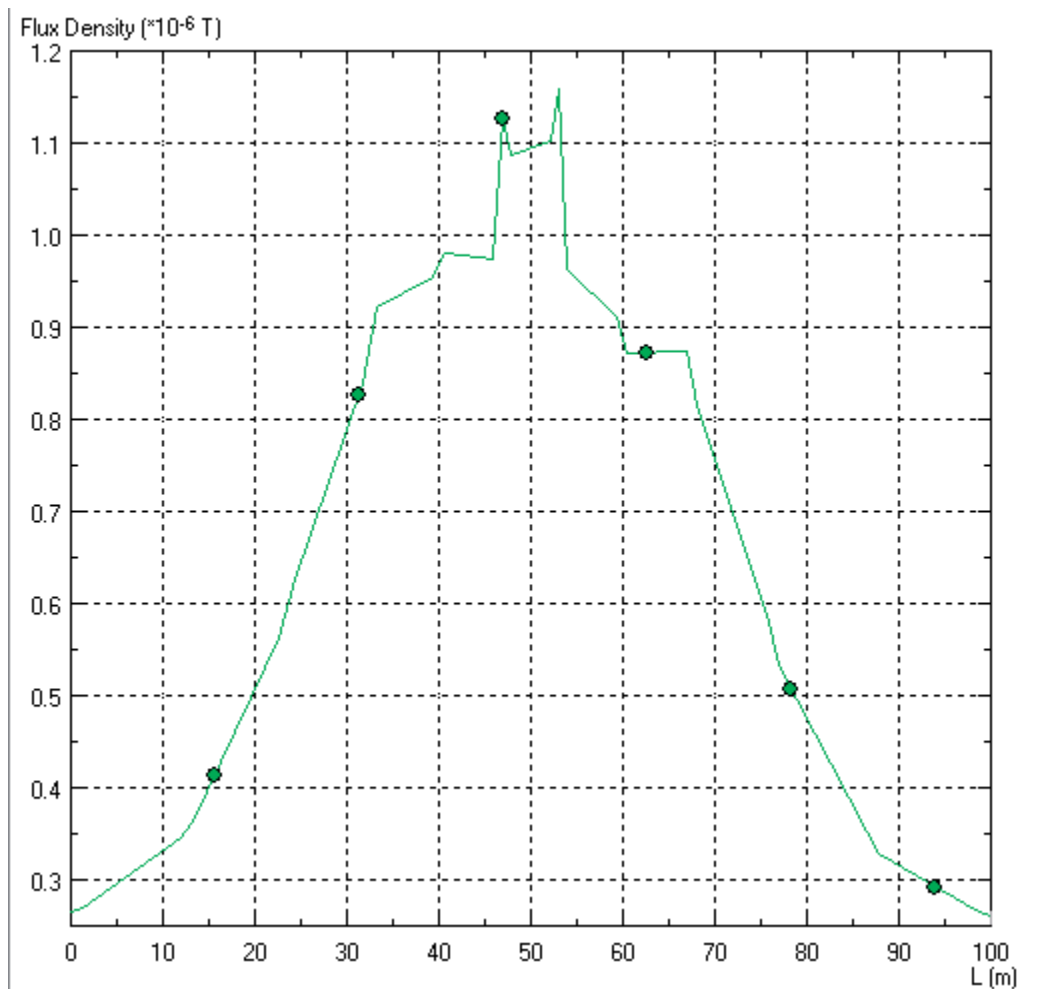


Figura 32: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases central y superior



c) Referencia de corriente en fases inferiores

Figura 33: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases inferiores

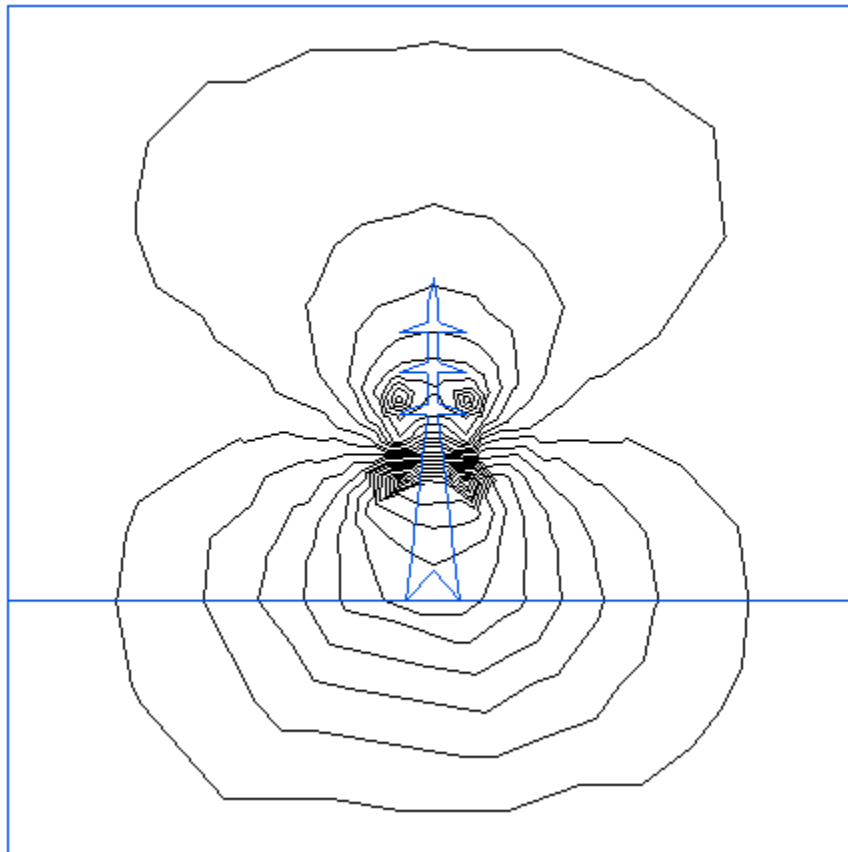
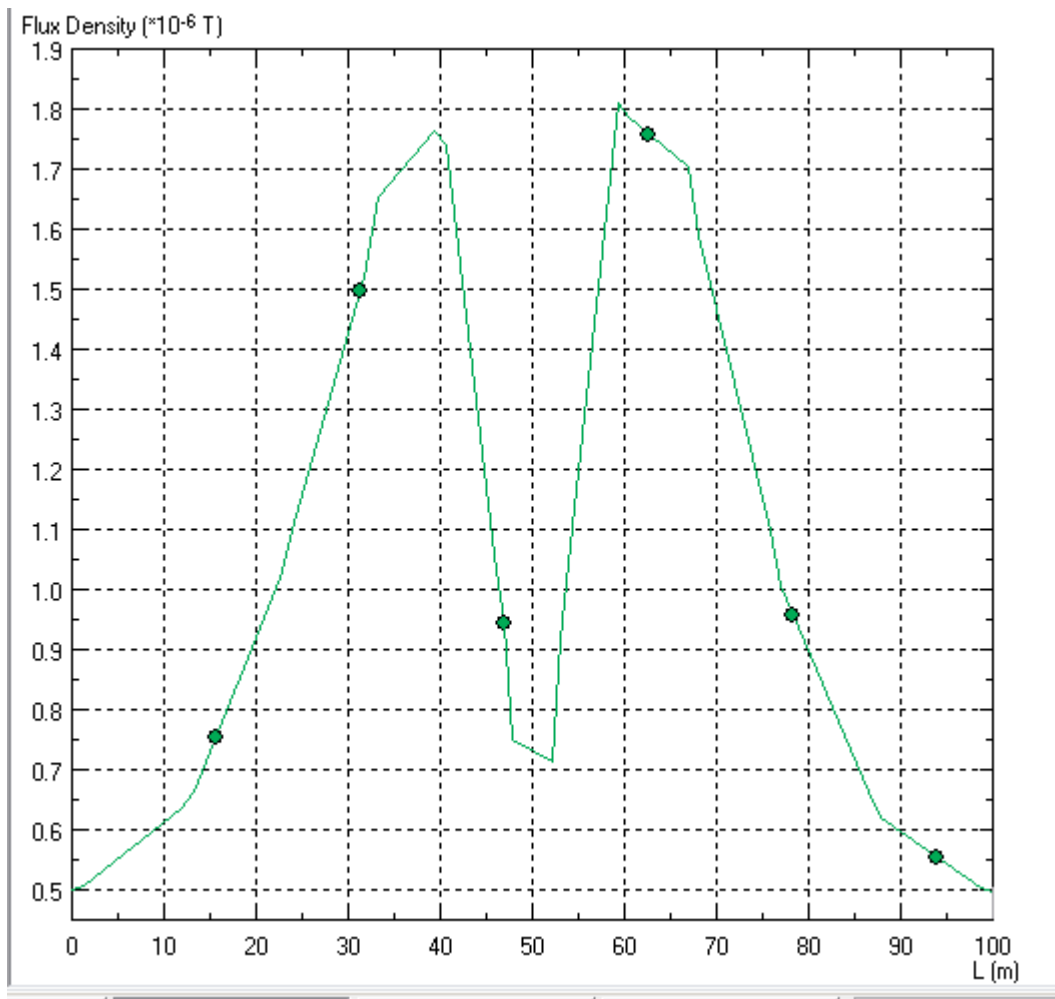


Figura 34: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases inferiores



1.8.2.3 Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2

a) Referencia de corriente en la fases superiores

Figura 35: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases superiores

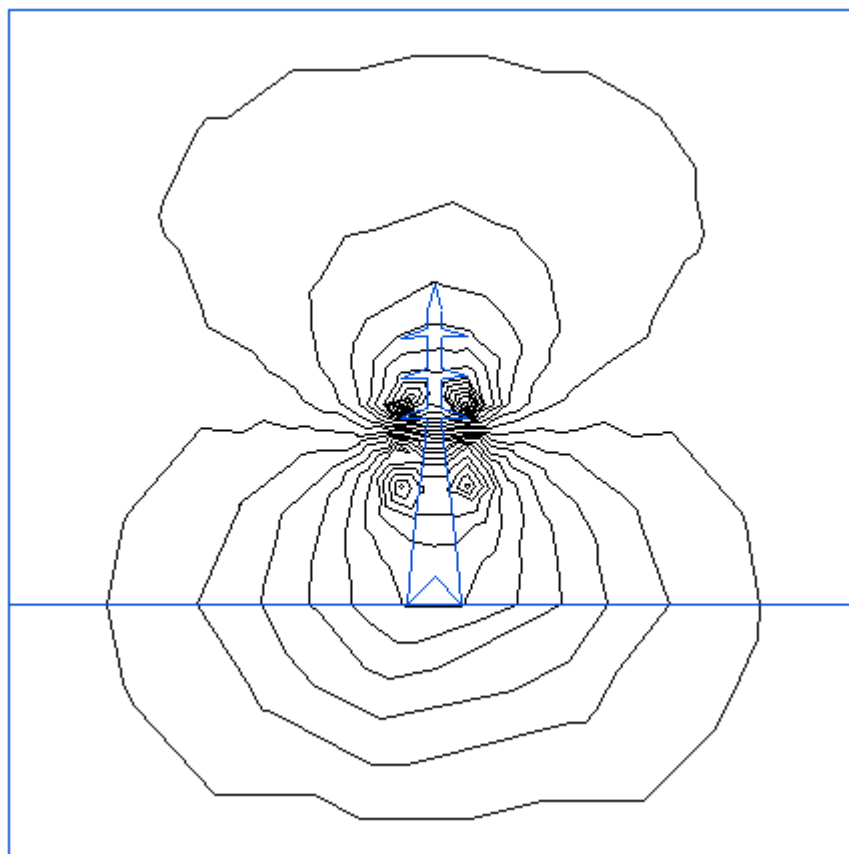
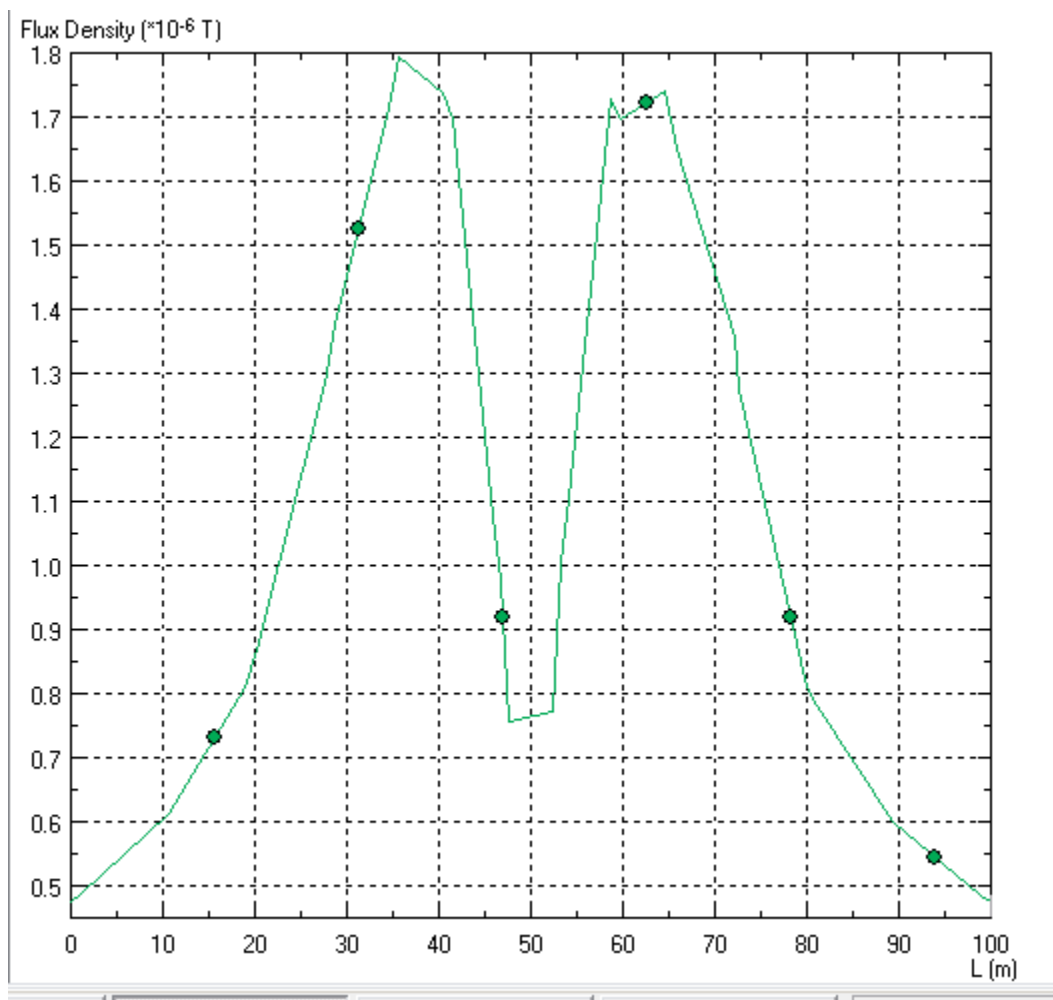


Figura 36: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases superiores.

L=50: Eje de la línea



b) Referencia de corriente en fases central y superior

Figura 37: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases central y superior

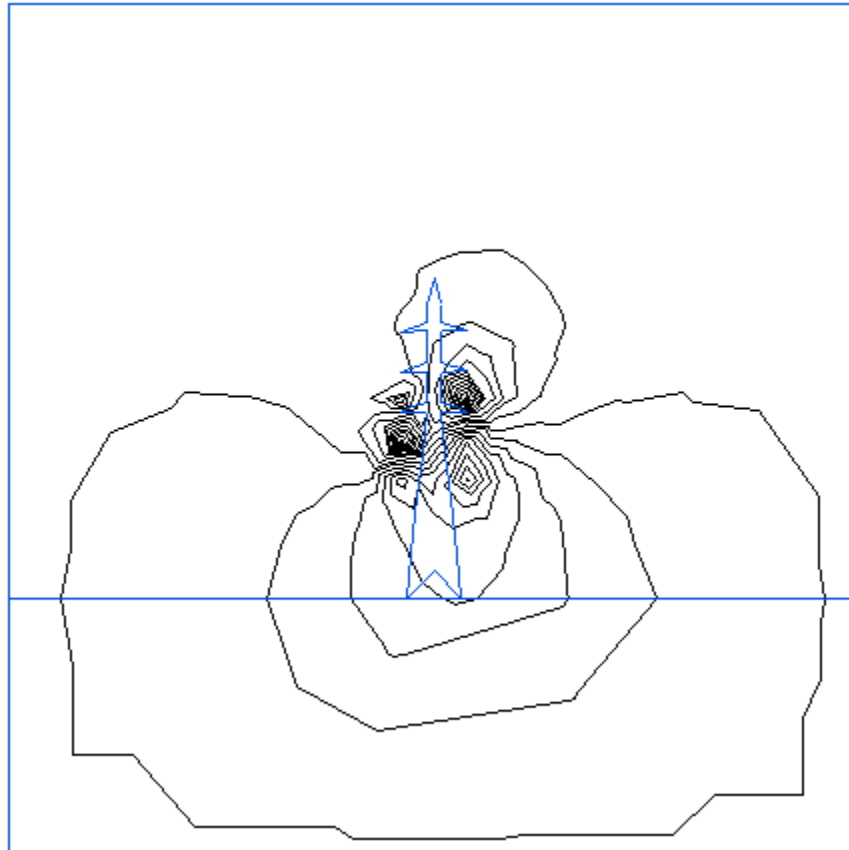
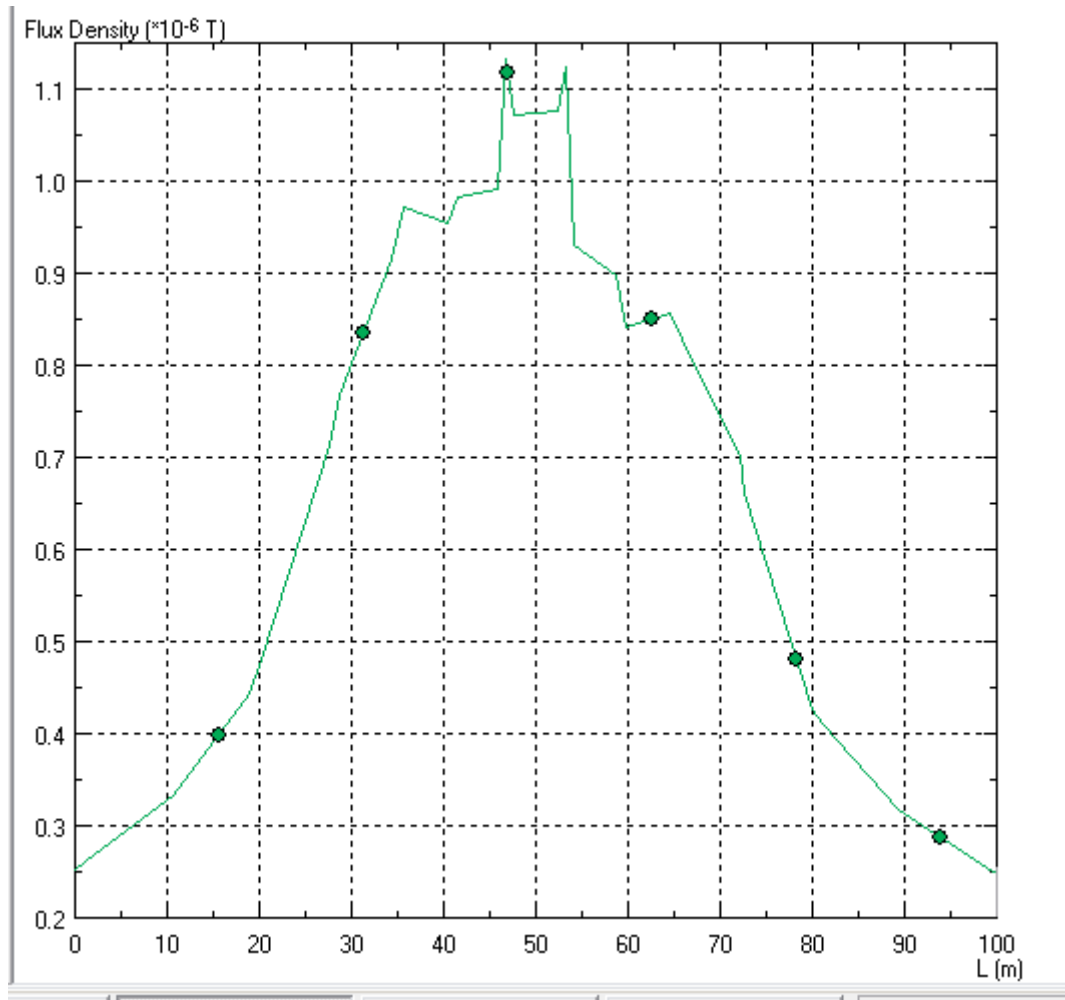


Figura 38: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases central y superior



c) Referencia de corriente en fases inferiores

Figura 39: Disposición de líneas equipotenciales. Referencia en fases inferiores

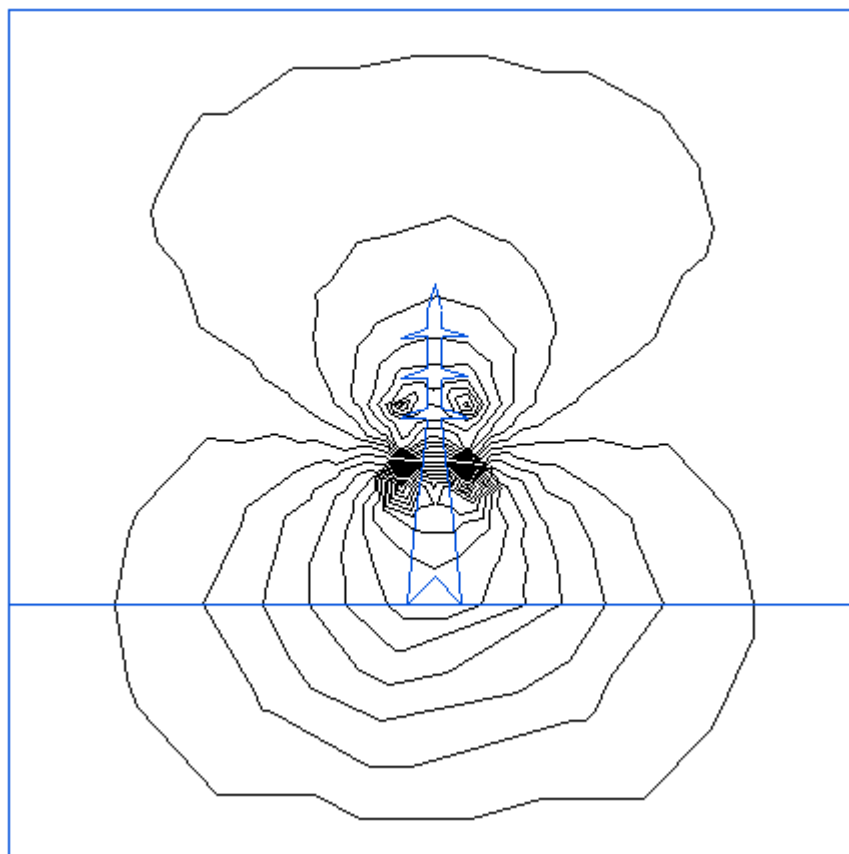
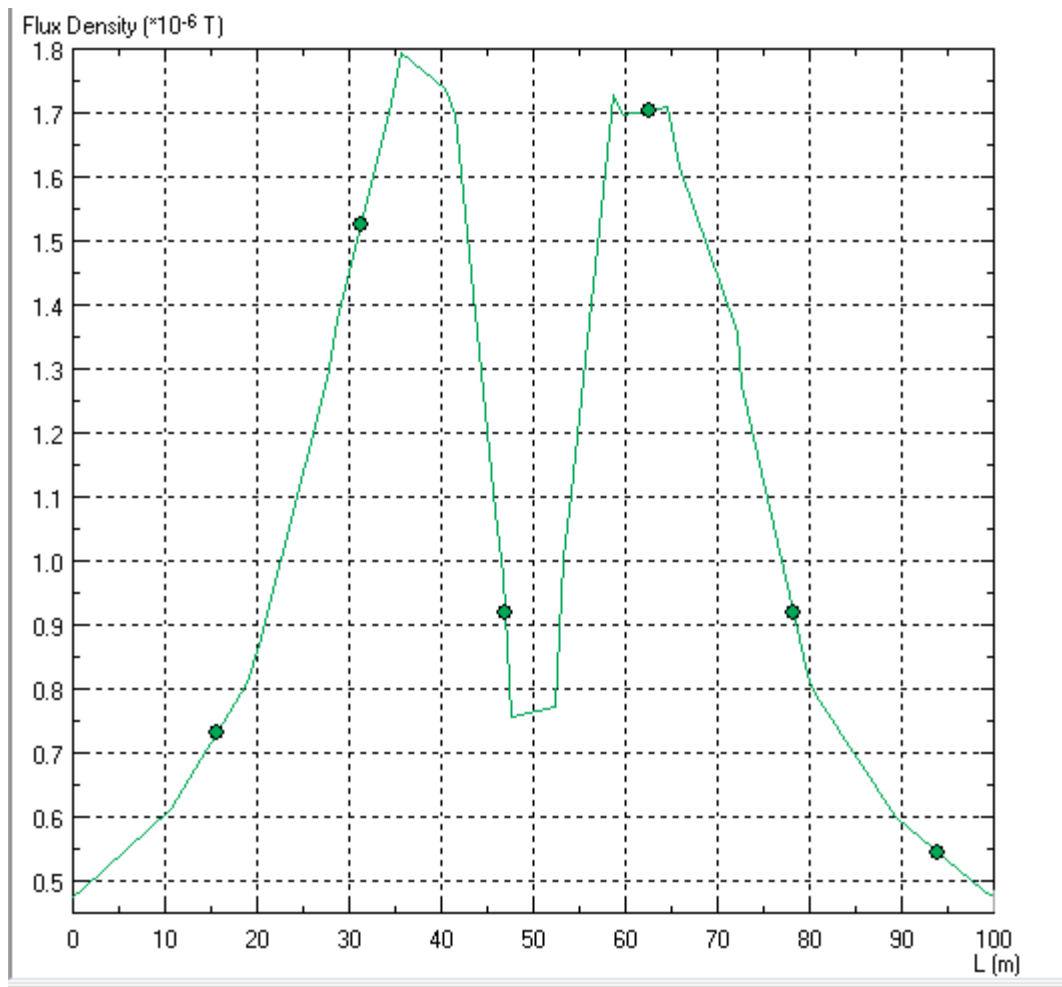


Figura 40: Magnitud de campo a 1,0 m sobre el suelo. Referencia en fases inferiores



1.8.3 Cálculo de Gradientes Superficiales y Niveles de Ruido

En este Apéndice se incluye el resultado de la aplicación del software LINEAS, que permite determinar gradiente en la superficie de conductores de líneas Alta Tensión y radio interferencia en la línea Cardones - Cerro Negro Norte – Totalillo de 220 kV doble circuito, con las configuraciones de estructuras que se indican:

- Estructura de Suspensión Tipo S220.2
- Estructura de Anclaje Tipo A220.2

- Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2

La tabla resumen de los valores encontrados a 15 metros de distancia lateral desde el conductor externo, se presenta a continuación:

Tabla 6: Resumen

Estructura	Radio interferencia a 1,0 MHz [dB/ 1 μ V/m]	Ruido acústico dB(A)
Estructura de Suspensión Tipo S220.2	41,25	44,02
Estructura de anclaje Tipo A220.2	42,14	44,16
Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2	42,79	44,34

El detalle del análisis se muestra a continuación.

1.8.3.1 Estructura de Anclaje A220.2

Campo Eléctrico y Potencial Inducido en Torno a Líneas de Transmisión

Número total de conductores: 6

Número de conductores activos: 6

Número de cables de guardia: 0

Fase	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
Radio del conductor (cm)	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580
Ubicación lateral (m)	3,6500	5,0000	5,0000	-3,6500	-5,0000	-5,0000
Altura conductor (m)	24,200	19,350	14,5000	24,200	19,350	14,5000

Matriz de coeficientes (amplif. por $(2 \pi \epsilon_0)$)

8.2551	2.1581	1.3747	1.9029	1.4990	1.1155
2.1581	8.0315	1.9430	1.4990	1.3856	1.1556
1.3747	1.9430	7.7429	1.1155	1.1556	1.1209
1.9029	1.4990	1.1155	8.2551	2.1581	1.3747
1.4990	1.3856	1.1556	2.1581	8.0315	1.9430
1.1155	1.1556	1.1209	1.3747	1.9430	7.7429

Matriz de capacitancias (amplif. por $1/(2 \pi \epsilon_0)$)

.1382	-.0272	-.0118	-.0210	-.0120	-.0074
-.0272	.1436	-.0266	-.0120	-.0105	-.0089
-.0118	-.0266	.1420	-.0074	-.0089	-.0113
-.0210	-.0120	-.0074	.1382	-.0272	-.0118

-0.120	-0.105	-0.0089	-0.0272	.1436	-.0266
-.0074	-.0089	-.0113	-.0118	-.0266	.1420

Potenciales de conductores (KVolts)

(127.017, .000)	127.017
(-63.508, 110.000)	127.017
(-63.508, -110.000)	127.017
(-63.508, -110.000)	127.017
(-63.508, 110.000)	127.017
(127.017, .000)	127.017

Cargas en conductores (Cb)/(2piE0)

(21188.9600, -707.5053)	21200.7600
(-10591.7500, 18886.6700)	21653.9100
(-9230.9660, -18707.0000)	20860.5500
(-9981.7560, -18703.9300)	21200.7700
(-11060.4500, 18616.0700)	21653.9100
(20816.2100, -1359.2420)	20860.5400

Gradientes superficiales (kVef./cm)

(16.843, -562)	16.852
(-8.419, 15.013)	17.212
(-7.337, -14.870)	16.582
(-7.934, -14.867)	16.852
(-8.792, 14.798)	17.212
(16.547, -1.080)	16.582

Radio interferencia a 15 m de conductor externo

RI11 = 35.39 dB/1uV/m	E11 = 58.82 μV/m		
RI12 = 39.29 dB/1uV/m	E12 = 92.15 μV/m		
RI13 = 39.39 dB/1uV/m	E13 = 93.22 μV/m		
RI21 = 33.07 dB/1uV/m	E21 = 45.03 μV/m	E1= 74.08 μV/m	
RI22 = 35.24 dB/1uV/m	E22 = 57.81 μV/m	E2= 108.78 μV/m	
RI23 = 34.25 dB/1uV/m	E23 = 51.58μV/m	E3= 106.54 μV/m	
RI1 = 37.39 dB/1uV/m			
RI2 = 40.73 dB/1uV/m			
RI3 = 40.55 dB/1uV/m	RI seco = 42.14 dB/1uV/m		

Ruido audible a 15 m de conductor externo

RA11 = 39.06 dB(A)	P11 = 89.74 N/m ²		
RA12 = 40.51 dB(A)	P12 = 106.04 N/m ²		
RA13 = 40.06 dB(A)	P13 = 100.69 N/m ²		
RA21 = 38.36 dB(A)	P21 = 82.79 N/m ²	P1 = 122.10 N/m ²	
RA22 = 39.28 dB(A)	P22 = 92.04 N/m ²	P2 = 140.41 N/m ²	
RA23 = 38.51 dB(A)	P23 = 84.23 N/m ²	P3 = 131.28 N/m ²	
RA1 = 41.73 dB(A)			
RA2 = 42.95 dB(A)			
RA3 = 42.36 dB(A)	RA = 44.16 dB(A)		

1.8.3.2 Estructura de Suspensión Tipo S220.2

Campo Eléctrico y Potencial Inducido en Torno a Líneas de Transmisión

Número total de conductores:	6
Número de conductores activos:	6
Número de cables de guardia:	0

Fase	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
Radio del conductor (cm)	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580
Ubicación lateral (m)	3,6500	4,0000	4,0000	-3,6500	-4,0000	-4,0000
Altura conductor (m)	27,7000	22,8500	18,0000	27,7000	22,8500	18,0000

Matriz de coeficientes (amplif. por $(2 \pi \epsilon_0)$)

8.3902	2.3414	1.5494	2.0353	1.7307	1.3220
2.3414	8.1977	2.1309	1.7307	1.7577	1.4928
1.5494	2.1309	7.9592	1.3220	1.4928	1.5282
2.0353	1.7307	1.3220	8.3902	2.3414	1.5494
1.7307	1.7577	1.4928	2.3414	8.1977	2.1309
1.3220	1.4928	1.5282	1.5494	2.1309	7.9592

Matriz de capacitancias (amplif. por $1/(2 \pi \epsilon_0)$)

.1381	-.0277	-.0121	-.0208	-.0130	-.0079
-.0277	.1445	-.0264	-.0130	-.0137	-.0112
-.0121	-.0264	.1415	-.0079	-.0112	-.0157
-.0208	-.0130	-.0079	.1381	-.0277	-.0121
-.0130	-.0137	-.0112	-.0277	.1445	-.0264
-.0079	-.0112	-.0157	-.0121	-.0264	.1415

Potenciales de conductores (KVolts)

(127.017, .000)	127.017
(-63.508, 110.000)	127.017
(-63.508, -110.000)	127.017
(-63.508, -110.000)	127.017
(-63.508, 110.000)	127.017
(127.017, .000)	127.017

Cargas en conductores (Cb)/(2piE0)

(21213.7300, -865.5204)	21231.3800
(-10745.9800, 18726.7000)	21590.8700
(-9615.4490, -18834.7800)	21147.2400
(-9857.2990, -18804.3900)	21231.3800
(-10844.8000, 18669.6500)	21590.8700
(21119.1200, -1090.1610)	21147.2400

Gradientes superficiales (kVef./cm)

(16.863, -688)	16.877
(-8.542, 14.886)	17.162
(-7.643, -14.972)	16.810
(-7.835, -14.947)	16.877
(-8.620, 14.840)	17.162
(16.787, -866)	16.810

Radio interferencia a 15 m de conductor externo

RI11 = 34.30 dB/1uV/m	E = 51.88 μV/m	
RI12 = 37.50 dB/1uV/m	E = 74.99 μV/m	
RI13 = 38.53 dB/1uV/m	E = 84.43 μV/m	
RI21 = 32.37 dB/1uV/m	E = 41.54 μV/m	E1= 66.46 μV/m
RI22 = 34.78 dB/1uV/m	E = 54.83 μV/m	E2= 92.90 μV/m
RI23 = 35.02 dB/1uV/m	E = 56.36 μV/m	E3= 101.51 μV/m
RI1 = 36.45 dB/1uV/m		
RI2 = 39.36 dB/1uV/m		
RI3 = 40.13 dB/1uV/m	RI seco = 41.25 dB/1uV/m	

Ruido audible a 15 m de conductor externo

RA11 = 38.75 dB(A)	P = 86.60 N/m ²
RA12 = 39.93 dB(A)	P = 99.20 N/m ²
RA13 = 39.98 dB(A)	P = 99.77 N/m ²
RA11 = 38.16 dB(A)	P = 80.91 N/m ² P1 = 118.52 N/m ²
RA12 = 39.11 dB(A)	P = 90.26 N/m ² P2 = 134.12 N/m ²
RA15 = 38.92 dB(A)	P = 88.31 N/m ² P3 = 133.24 N/m ²
RA15 = 41.48 dB(A)	
RA15 = 42.55 dB(A)	
RA15 = 42.49 dB(A)	RA = 44.02 dB(A)

1.8.3.3 Estructura de Anclaje y Remate Tipo R220.2

Campo Eléctrico y Potencial Inducido en Torno a Líneas de Transmisión

Número total de conductores:	6
Número de conductores activos:	6
Número de cables de guardia:	0

Fase	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
Radio del conductor (cm)	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580	1,2580
Ubicacion lateral (m)	3,6500	5,0000	5,0000	-3,6500	-5,0000	-5,0000
Altura conductor (m)	22,7000	17,8500	13,0000	22,7000	17,8500	13,0000

Matriz de coeficientes (amplif. por $(2 \pi \epsilon_0)$)

8.1912	2.0868	1.2941	1.8404	1.4305	1.0390
2.0868	7.9508	1.8502	1.4305	1.3103	1.0709
1.2941	1.8502	7.6337	1.0390	1.0709	1.0245
1.8404	1.4305	1.0390	8.1912	2.0868	1.2941
1.4305	1.3103	1.0709	2.0868	7.9508	1.8502
1.0390	1.0709	1.0245	1.2941	1.8502	7.6337

Matriz de capacitancias (amplif. por $1/(2 \pi \epsilon_0)$)

.1384	-.0270	-.0115	-.0208	-.0118	-.0071
-.0270	.1439	-.0261	-.0118	-.0103	-.0085
-.0115	-.0261	.1429	-.0071	-.0085	-.0107
-.0208	-.0118	-.0071	.1384	-.0270	-.0115
-.0118	-.0103	-.0085	-.0270	.1439	-.0261
-.0071	-.0085	-.0107	-.0115	-.0261	.1429

Potenciales de conductores (kVolts)

(127.017, .000) 127.017
(-63.508, 110.000) 127.017
(-63.508, -110.000) 127.017
(-63.508, -110.000) 127.017
(-63.508, 110.000) 127.017
(127.017, .000) 127.017

Cargas en conductores (Cb)/(2piE0)

(21189.7200, -718.2621) 21201.8900
(-10593.5800, 18869.0300) 21639.4200
(-9235.4430, -18740.9500) 20892.9800
(-9972.8250, -18709.9700) 21201.9000
(-11044.2600, 18608.8300) 21639.4200
(20847.8600, -1372.3410) 20892.9800

Gradientes superficiales (kVef./cm)

(16.843, -570) 16.853
(-8.420, 14.999) 17.201
(-7.341, -14.897) 16.608
(-7.927, -14.872) 16.853
(-8.779, 14.792) 17.201
(16.572, -1.090) 16.608

Radio interferencia a 15 m de conductor externo

RI11 = 36.03 dB/1uV/m E = 63.33 μV/m
RI12 = 39.97 dB/1uV/m E = 99.62 μV/m
RI13 = 40.18 dB/1uV/m E = 102.10 μV/m

RI21 = 33.52 dB/1uV/m E = 47.43 μV/m E1= 79.12 μV/m
RI22 = 35.60 dB/1uV/m E = 60.24 μV/m E2= 116.42 μV/m
RI23 = 34.68 dB/1uV/m E = 54.17 μV/m E3= 115.58 μV/m

RI1 = 37.97 dB/1uV/m
RI2 = 41.32 dB/1uV/m
RI3 = 41.26 dB/1uV/m RI seco = 42.79 dB/1uV/m

Ruido audible a 15 m de conductor externo

RA11 = 39.26 dB(A)	P = 91.80 N/m ²		
RA12 = 40.70 dB(A)	P = 108.45 N/m ²		
RA13 = 40.32 dB(A)	P = 103.80 N/m ²		
RA11 = 38.50 dB(A)	P = 84.10 N/m ²	P1 = 124.50 N/m ²	
RA12 = 39.38 dB(A)	P = 93.12 N/m ²	P2 = 142.94 N/m ²	
RA15 = 38.66 dB(A)	P = 85.66 N/m ²	P3 = 134.58 N/m ²	
RA15 = 41.90 dB(A)			
RA15 = 43.10 dB(A)			
RA15 = 42.58 dB(A)	RA = 44.34 dB(A)		

1.8.4 Normas de Referencia Aplicables en Chile respecto de la Exposición Humana a Campos electromagnéticos de 50 HZ

En nuestro país no existe reglamentación 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 95 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, publicado en el Diario Oficial del 07.12.2002, indica en su Artículo 7:

“**Artículo 7.-** Las normas de calidad ambiental y de emisión que se utilizarán como referencia para los efectos de evaluar si se generara o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), ambas del artículo 11 de la ley, serán aquellas vigentes en los siguientes Estados: República Federal de Alemania, República de Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, 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.”

Las tablas que se indican a continuación presentan las principales normas de referencia aplicables en Chile, de acuerdo a lo señalado en el Artículo anterior.

Tabla 7: Límite de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de 50 Hz, Público General

País	Campo Eléctrico [kV/m]	Campo magnético [micro Tesla]	
Alemania	5,0	100,0	
Argentina	3,0	25,0	Borde franja de seguridad o perímetro

País	Campo Eléctrico [kV/m]	Campo magnético [micro Tesla]	
			subestación
Australia	5,0	100,0	
Canadá	No existe	No existe	
España	CEU	CEU	
Italia	5,0	10,0	Sólo LT ; 3,0 micro Tesla nuevas LT
Japón	3,0	No existe	Solo LT
Estados Unidos	2,0 - 11,8	15,0 - 20,0	
Reino de los Países Bajos (Gobierno)	ICNIRP	ICNIRP	0,4 micro Tesla Aplica a nuevas líneas aéreas cerca de recintos con niños
Reino de los Países Bajos (Consejo de Salud)	8,0	120,0	
Suecia	No explícito	No explícito	Principio de precaución
Suiza	5,0	100,0	1,0 micro tesla nuevas instalaciones de LT y cable
ICNIRP	5,0	100,0	
IEEE	5,0	904,0	
Consejo de Unión Europea (CEU)	5,0	100,0	

Tabla 8: Límite de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de 50 Hz, Exposición Ocupacional

País	Campo Eléctrico [kV/m]	Campo magnético [micro Tesla]	
Alemania	5,0	100,0	
Argentina	3,0	25,0	Borde franja de seguridad o perímetro subestación
Australia	10,0 - 30,0	500,0	
Canadá	No existe	No existe	
España	CEU	CEU	
Italia	5,0	10,0	Sólo LT ; 3,0 micro Tesla nuevas LT
Japón	ICNIRP	ICNIRP	
Estados Unidos	2,0 - 11,8	15,0 - 20,0	
Reino de los Países Bajos (Gobierno)	ICNIRP	ICNIRP	0,4 micro Tesla Aplica a nuevas líneas aéreas cerca de recintos con niños
Reino de los Países Bajos	40,0	600,0	

País	Campo Eléctrico [kV/m]	Campo magnético [micro Tesla]	
(Consejo de Salud)			
Suecia	No explícito	No explícito	Principio de precaución
Suiza	5,0	1,0	1,0 micro tesla nuevas instalaciones de LT y cable
ICNIRP	10,0	500,0	
IEEE	20,0	2710,0	
Consejo de Unión Europea (CEU)	10,0	500,0	