UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO

PROYECTO TÉCNICO DE ENFOQUE GENERAL:

"ANÁLISIS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
EN EL CORREDOR VIAL DE LA AVENIDA MÉXICO, CUENCA
ECUADOR"

AUTORES:

GUAYLLAS GUAMÁN JOSÉ EDISON
CHASI MOLINA SANDRO VINICIO

TUTOR:

ING. CHACÓN TROYA DIEGO PAUL

CUENCA – ECUADOR
2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, José Edison Guayllas Guamán con documento de identificación N°1900805274 y Sandro Vinicio Chasi Molina con documento de identificación N°0104956412, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **"ANÁLISIS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN EL CORREDOR VIAL DE LA AVENIDA MÉXICO, CUENCA ECUADOR"**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre de 2018

José Edison Guayllas Guamán	Sandro Vinicio Chasi Molina
CI: 1900805274	CI: 0104956412
AUTOR	AUTOR

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"ANÁLISIS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN EL CORREDOR VIAL DE LA AVENIDA MÉXICO, CUENCA ECUADOR",** realizado por José Edison Guayllas Guamán y Sandro Vinicio Chasi Molina, obteniendo el **Proyecto Técnico de enfoque general,** que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre de 2018

Ing. Diego Paul Chacón Troya, Mdhd

CI: 1900268168

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, José Edison Guayllas Guamán con número de cédula CI.1900805274 y Sandro Vinicio Chasi Molina con número de cédula CI. 0104956412, autores del trabajo de titulación **"ANÁLISIS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN EL CORREDOR VIAL DE LA AVENIDA MÉXICO, CUENCA ECUADOR"**, certificamos que el total contenido del **Proyecto Técnico de enfoque general,** es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, septiembre de 2018

José Edison Guayllas Guamán	Sandro Vinicio Chasi Molina
CI: 1900805274	CI: 0104956412
AUTOR	AUTOR

AGRADECIMIENTO

A mi madre María, a mi fallecido padre Luis y a mis hermanos por apoyarme siempre en mis estudios y logros profesionales. En mi vida son lo más importante; es por ello que espero ser reciproco con mi esfuerzo y dedicación. Al docente Msc. Diego Chacón, a mi compañero de tesis Sandro Chasi, que durante todo este tiempo hemos evaluado nuestras: habilidades, dedicación, paciencia y conocimientos en el desarrollo de este proyecto, que hemos completado cumpliendo los requisitos acordados. Además, agradezco a los docentes Juan Pablo Bermeo Moyano, Flavio Quizhpi y Amaya Jorge, quienes me ayudaron en temas puntuales, necesarios para el desarrollo del documento y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad.

Guayllas Guamán José Edison

A mis hijas Valentina e Hidai que han sido el motor de todo esfuerzo y sacrificio realizado. A los docentes de esta respetada universidad. A la vida en general por permitirme alcanzar esta meta que inicio con un sueño y para lograrlo en el camino se encontraron muchas dificultades en las que estuvieron presentes siempre un grupo de amigos especialmente el compañero José Guayllas con el cual tengo el orgullo de dar este paso muy importante.

Chasi Molina Sandro Vinicio

ÍNDICE GENERAL

PROBLEMA DE ESTUDIO xi
JUSTIFICACIÓN xii
GRUPO OBJETIVO xii
OBJETIVOS xii
Objetivo general xii
Objetivos específicos xiii
CAPÍTULO I: DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO PARA EL CORREDOR VIAL DE LA AVENIDA MÉXICO 1
1.1 ANÁLISIS DE LA CAPACITANCIA EN UNA LÍNEA DE DOS HILOS 3
1.1.1 Modelamiento en líneas de telefónica fija 3
1.2 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO A 6
1.2.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético 6
1.2.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM 7
1.3 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO B 9
1.3.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético 9
1.3.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM 11
1.4 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO C 13
1.4.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético 13
1.4.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de sistemas EM 15
1.5 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO D 17
1.5.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético 18
1.5.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM 19
1.6 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO E 20
1.6.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético 21
1.6.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM 22
CAPÍTULO II: OBTENCIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE LOS ACOPLAMIENTOS ELECTROMAGNÉTICOS 25
2.1 PROBABILIDADES DE OCURRENCIA EN EVENTOS DE CONSUMO ENERGÉTICO 26
2.2 OBTENCIÓN DE LA MAGNITUD DE CORRIENTE EN LAS FUENTES ELECTROMAGNÉTICAS ASOCIADAS A LÍNEAS DE TELEFONÍA FIJA 27
2.3 OBTENCIÓN DE LA MAGNITUD DE CORRIENTE EN LAS FUENTES ELECTROMAGNÉTICAS ASOCIADAS A LA ENERGIZACIÓN DEL TRANVÍA 27
2.4 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO A 28
2.4.1 Acoplamiento de campos eléctricos 28
2.4.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos 29
2.4.2 Acoplamiento de campos magnéticos 30

2.4.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 2 A 30
2.4.2.2 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 A 31
2.4.2.3 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 4 A 34
2.4.2.4 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético 34
2.5 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO B 36
2.5.1 Acoplamiento de campos eléctricos 36
2.5.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos 36
2.5.2 Acoplamiento de campos magnéticos 38
2.5.2.1 Determinación de corrientes en sistema electromagnético 2 B 38
2.5.2.2 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3B 40
2.5.2.3 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 4 B 42
2.5.2.4 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos 42
2.6 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO C 44
2.6.1 Acoplamiento de campos eléctricos 44
2.6.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos 45
2.6.2 Acoplamiento de campos magnéticos 46
2.6.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 C 46
2.6.2.2 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos 48
2.7 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO D 50
2.7.1 Acoplamiento de campos eléctricos 50
2.7.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos 50
2.7.2 Acoplamiento de campos magnéticos 51
2.7.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 D 51
2.7.2.2 Determinación de corrientes en los conductores de los sistemas electromagnéticos 53
2.8 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO E 54
2.8.1 Acoplamiento de campos eléctricos 54
2.8.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos 55
2.8.2 Acoplamiento de campos magnéticos 56
2.8.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 2 E 56
2.8.2.2 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 E 58
2.8.2.3 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 4 E 59
2.8.2.4 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos 59
CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN ENTRE SISTEMAS EMISORES/RECEPTORES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO 61
3.1 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO A 62
3.1.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos 62
3.1.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos 63
3.2 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO B 63

3.2.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos 63
3.2.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos 64
3.3 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO C 65
3.3.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos 65
3.3.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos 66
3.4 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO D 67
3.4.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos 67
3.4.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos 68
3.5 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO E..... 69
3.5.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos 69
3.5.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos 70
CAPÍTULO IV: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y NORMATIVAS DE EXPOSICIÓN PÚBLICA PARA CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIA EXTREMADAMENTE BAJA ELF 71
4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO A 71
4.1.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos 72
4.1.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos 73
4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO B..... 74
4.2.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos 74
4.2.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos 75
4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO C..... 76
4.3.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos 76
4.3.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos 77
4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO D 77
4.4.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos 78
4.4.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos 79
4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO E..... 80
4.5.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos 80
4.5.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos 81
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 82
5.1 Conclusiones:..... 82
5.2 Recomendaciones: 84
6. BIBLIOGRAFÍA 86
7. ANEXOS…….…cvi

RESUMEN

El proyecto de titulación consistió en obtener los niveles de campo electromagnético, con la finalidad de conocer cuánto afectan las redes eléctricas que transportan grandes cantidades de energía en otras redes y viceversa. Se eligió el corredor vial de la avenida México, ya que, existe una gran diversidad de redes eléctricas, como: redes de media tensión aérea y subterránea, redes de baja tensión, líneas telefónicas, alumbrado público y un sistema ferroviario. Para realizar el análisis se dividió al corredor vial en cinco etapas, las cuales, gobiernan considerablemente las disposiciones eléctricas de la avenida. A cada una de ellas, se estructuró un escenario hipotético utilizando el software INVENTOR, importando los escenarios al software ANSOFT MAXWELL, en donde se incorporó las propiedades eléctricas a las fuentes electromagnéticas, como: materiales, voltajes y corrientes.

Las propiedades eléctricas relacionadas a los materiales, se obtuvo de catálogos de varios fabricantes, además, de bases de datos estandarizadas. Mientras que, los voltajes se tomaron del GEO PORTAL de la Empresa Eléctrica CENTRO SUR. Consecuentemente, las obtenciones de los valores de corriente se calcularon asumiendo que los transformadores suministran energía a las redes de baja tensión con su potencia nominal; y que las fases L1 y L2 están ligeramente desequilibradas. Razón por la cual, se utilizó eventos con sus probabilidades de ocurrencia en el consumo de energía.

Para saber cuánto afecta el acoplamiento eléctrico y magnético en las distintas fuentes de CEM, se obtuvo las curvas de niveles de energía, identificando cuanta es inducida en los distintos elementos conductores del corredor vial; observando con ello, su afectación.

Finalmente, se analiza los campos vectoriales que se producen por el efecto de acoplamiento electromagnético con normas estandarizadas en distintos países y organizaciones, con el propósito

de conocer que tan nocivas resultan a la integridad del ser humano, al respecto, se analizó un espacio con una altura no superior a los 2 metros, asumiendo el riesgo de exposición en toda la superficie del corredor.

PROBLEMA DE ESTUDIO

El estudio de los efectos producidos por campos electromagnéticos es amplío, analizando sus efectos desde varias fuentes como: antenas, líneas eléctricas de AT/MT, radiofrecuencias (de manera natural), radares, etc., y en ámbitos como la salud, seguridad, prevención, calidad, confiabilidad, entre otros.

Un ambiente electromagnético es creado por las líneas que transportan la energía, su estudio es complejo, porque, intervienen diferentes factores como la disposición geométrica de los conductores y sus retornos por tierra. Los campos electromagnéticos creados a la frecuencia industrial de 60/50 Hz se consideran campos de extra baja frecuencia y son los predominantes con relación a la magnitud y duración. En los conductores, también existen campos electromagnéticos creados por corrientes con frecuencias armónicas; se clasifican como: de alta y extra alta frecuencia, su intensidad o duración no suele ser considerable, por ello, pocas veces se toman en cuenta; usualmente, se consideran en ámbitos de la salud, comunicaciones, entre otros.

Las líneas de media/alta tensión, poseen grandes cantidades de energía, produciendo mayores cantidades de campo electromagnético, el cual, tiende a atenuarse con la distancia, el problema es que cuando se tienen espacios reducidos, no se atenúan lo suficiente y pueden llegar a inducir pequeñas cantidades de voltaje en otras redes (baja tensión, agua, gas, comunicaciones). Por ello, los cables de: media tensión, alta tensión, tuberías de gas, tuberías de agua, cables de teléfono, cables de baja tensión, vías de ferrocarril/tranvía, entre otros; deben ubicarse adecuadamente (mediante normas); de modo que, aíslen los niveles de energía/peligro y a la vez optimicen el espacio.

JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Cuenca, las redes de servicios básicos como: electricidad, agua potable, comunicaciones y transporte, se ubican en espacios reducidos, debido a la infraestructura de la ciudad. Lo que puede ocasionar efectos de acoplamiento electromagnético entre las fuentes y conductores de CEM (líneas de MT/BT, redes de comunicaciones, agua potable y vías/redes eléctricas de alimentación del tranvía).

Este proyecto analizó los efectos de inducción electromagnética en el corredor vial de la avenida México. Siendo beneficioso para empresas de: comunicaciones, electricidad, agua potable y movilidad. Puesto que, con el presente estudio se obtuvo información, que permitirá verificar, analizar y conocer; la distribución adecuada de las redes en el corredor vial.

GRUPO OBJETIVO

El proyecto, analiza la ubicación de las redes de servicios básicos en el corredor vial de la venida México, en la ciudad de Cuenca. Beneficiando a ETAPA y CENTROSUR, empresas encargadas en la operación de estos servicios.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar un análisis de inducción electromagnética en el corredor vial de la avenida México, ubicado en la ciudad de Cuenca – Ecuador.

Objetivos específicos

- Realizar un escenario hipotético de las fuentes que generan campos electromagnéticos y componentes inducidos de elementos finitos mediante software.
- Simular los campos electromagnéticos, emanados desde grandes fuentes de energía (líneas de media tensión, líneas de baja tensión y líneas de alimentación del tranvía), en otros componentes del corredor vial (tuberías de agua, líneas de comunicaciones y vías del tranvía) para estimar su afectación.
- Analizar los resultados de la simulación y el acoplamiento electromagnético entre las fuentes de CEM.
- Comparar resultados obtenidos con normativas existentes para corredores viales.

CAPÍTULO I: DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO PARA EL CORREDOR VIAL DE LA AVENIDA MÉXICO

En este capítulo se diseñó a través de software los escenarios hipotéticos para el corredor vial de la avenida México, ubicada en la parroquia El Batán, de la ciudad de Cuenca – Ecuador.

El software utilizado para realizar el diseño es INVENTOR; paquete de modelamiento paramétrico de sólidos en 3D producido por Autodesk, que permitió construir y probar montajes de elementos extensos y complejos (Autodesk, 2016).

El proyecto buscó estudiar los efectos del acoplamiento electromagnético, para lo cual, se empleó el software Ansys Maxwell, a través del cual se obtuvo la magnitud y dirección de los vectores del campo electromagnético; al mismo tiempo, aportó con limitaciones el diseño en 3D de algunos elementos.

Una particularidad del paquete informático es su flexibilidad; permitiendo importar archivos en formato. STP desde otros software (ANSYS, 2013); -en este caso Inventor-. Justificando el uso de ambos programas computacionales en el desarrollo del proyecto.

Considerando la extensión que posee la avenida México (aproximadamente 520 m), se dividió en 5 tramos; que son importantes por los materiales utilizados, ubicación, niveles de tensión y calibre de los emisores/receptores (conductores) de campo electromagnético. Los tramos se identificaron en orden alfabético (A…E), iniciando el diseño desde la intersección con la avenida de las Américas y culminando en el redondel Del Crea.

Para conocer las características eléctricas de: conductores, postes, estructuras en media/baja tensión, tensores y clientes del corredor vial. Se obtuvo información secundaria de las propiedades del sistema en el geo portal de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, como: mapas, reportes de SIG y archivos CAD (CENTROSUR, 2018). De igual manera, para conocer la disposición

cartesiana (ubicación) de los00 conductores; se tomó como referencia la homologación de las unidades de propiedad (up) y unidades de construcción (uc) del sistema de distribución eléctrica; que se muestran en el Catalogo Digital del Ministerio de Electricidad y Energías renovables (MEER, 2013).

Se utilizó catálogos de fabricantes de: redes subterráneas (General-Cable, 2015), conductores multiplex de aluminio (PROCABLES, 2013), cables de aluminio desnudo con alma de acero (Viakon, 2015), cable pre ensamblado AAC – AAAC (Ecuacable, 2015) y especificaciones técnicas de postes de concreto (UNIDAD CET-N&E, 2015); con el propósito de corroborar, investigar la información.

En el proyecto se analizaron las redes eléctricas en: media/baja tensión, líneas de comunicaciones, tuberías metálicas (agua/gas) rieles y catenarias ferroviarias. Por esa razón se eligió el corredor vial de la avenida México, ya que, posee algunos de los elementos antes mencionados; con la excepción de que las tuberías de agua no son metálicas, sino PVC; además, el gas doméstico no se transporta por ductos en el país. Al respecto, no se incluyeron tuberías metálicas en el estudio. De igual manera, las líneas de telecomunicaciones presentan valores muy bajos en cuanto a la potencia de sus señales; por ello, únicamente se incluyó en el análisis las acometidas exteriores (ACV) -telefonía fija- (Viakon, 2006).

Para conocer la distribución de las redes de telefonía fija en la avenida México; se identificó sus características a través del geo portal de telecomunicaciones de ETAPA. Debido a sus dimensiones, los esquemas de las redes eléctricas y de comunicación se muestran como anexos 1 y 2, respectivamente.

1.1 ANÁLISIS DE LA CAPACITANCIA EN UNA LÍNEA DE DOS HILOS

En el software Ansys Maxwell, los escenarios hipotéticos presentan problemas de compilación; al momento de realizar el mallado (mesh), este problema se debe a que los conductores de las líneas telefónicas poseen un radio muy reducido (1mm). Para solucionar el inconveniente, se realiza el análisis de la capacitancia en una línea de dos hilos (William H. Hayt, 2007).

1.1.1 Modelamiento en líneas de telefónica fija

La línea telefónica presenta un radio en sus conductores de cobre de 1 mm y un espesor de 1.5 mm de aislamiento; su funcionamiento en llamada es de 100 V y sin llamada de 60 V. En la figura 1 se muestra el corte transversal del cable telefónico, con sus dimensiones; además, de su equivalente a superficie equipotencial para un cilindro conductor de 1 mm de radio a un potencial de 100V, paralela a 3.5 mm de un conductor a potencial cero.

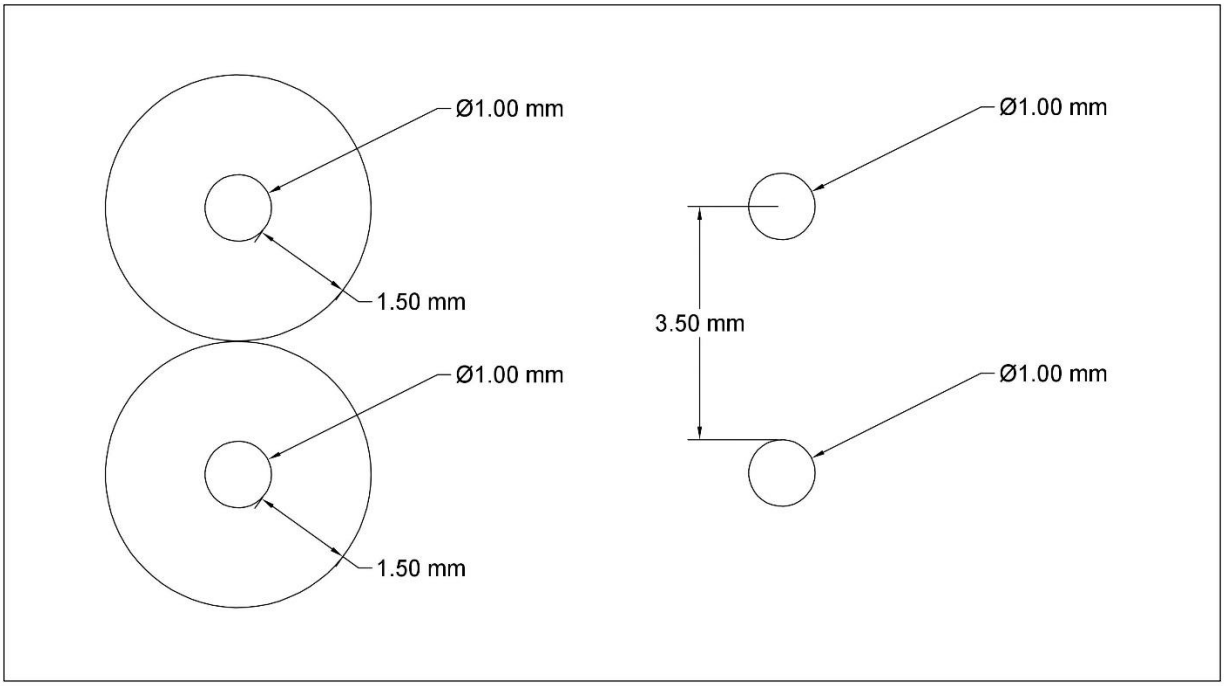


Figura 1: Sección transversal del cable telefónico y su equivalente a superficie equipotencial cilíndrica a un potencial de 100 V, paralela a un conductor a potencial cero.

Se obtiene las constantes:

$$b = 0.5\ mm$$

$$h = 3.5\ mm$$

$$V_0 = 100\ V$$

Donde:

b = radio de la superficie equipotencial que envuelve al conductor.

h = distancia entre el centro de la superficie equipotencial a un conductor de potencial cero.

V_0= Voltaje de la superficie equipotencial.

Al realizar el cálculo se tiene:

Línea de carga equivalente

$$a = \sqrt{h^2 - b^2} = \sqrt{(3.5mm)^2 - (0.5mm)^2} = 3.4641mm$$

Parámetro de potencia K_1

$$\sqrt{K_1} = \frac{h + \sqrt{h^2 - b^2}}{\mathrm{b}} = \frac{3.5mm + \sqrt{(3.5mm)^2 - (0.5mm)^2}}{0.5mm} = 13.9282$$

$$K_1 = 194$$

Intensidad de carga lineal de la línea equivalente

$$\rho_L = \frac{4\pi \in_0 V_0}{\ln(K_1)} = \frac{4\pi\left(8.854x10^{-12}\frac{C^2}{Nm^2}\right)(100V)}{\ln(194)} = 2.1121x10^{-9}\frac{C}{m}$$

A continuación, se procede a identificar la nueva superficie equipotencial cilíndrica que se encuentra a 30 V; con la finalidad de obtener los nuevos valores de K_1, b y h; parámetros que permitirán incrementar el radio del conductor, sin alterar sus propiedades eléctricas.

Con ello, se calcula:

$$K_1 = e^{4\pi\epsilon_0 V/\rho_L} = e^{4\pi\left(8.854x10^{-12}\frac{C^2}{Nm^2}\right)(50V)/\left(2.1121x10^{-9}\frac{C}{m}\right)} = 13.928388$$

El nuevo radio es:

$$b = \frac{2a\sqrt{K_1}}{K_1 - 1} = \frac{2(3.4641)\sqrt{13.928388}}{13.928388 - 1} = 2mm$$

La nueva distancia entre el positivo (superficie equipotencial) y el negativo (conductor a potencial cero).

$$h = \frac{a(K_1 + 1)}{K_1 - 1} = \frac{3.4641(13.928388 + 1)}{13.928388 - 1} = 4mm$$

En la figura 2, se aprecia la nueva superficie equipotencial portadora de carga (30 V), paralela al conductor a potencial cero. Además, el corte transversal del cable telefónico (modificado).

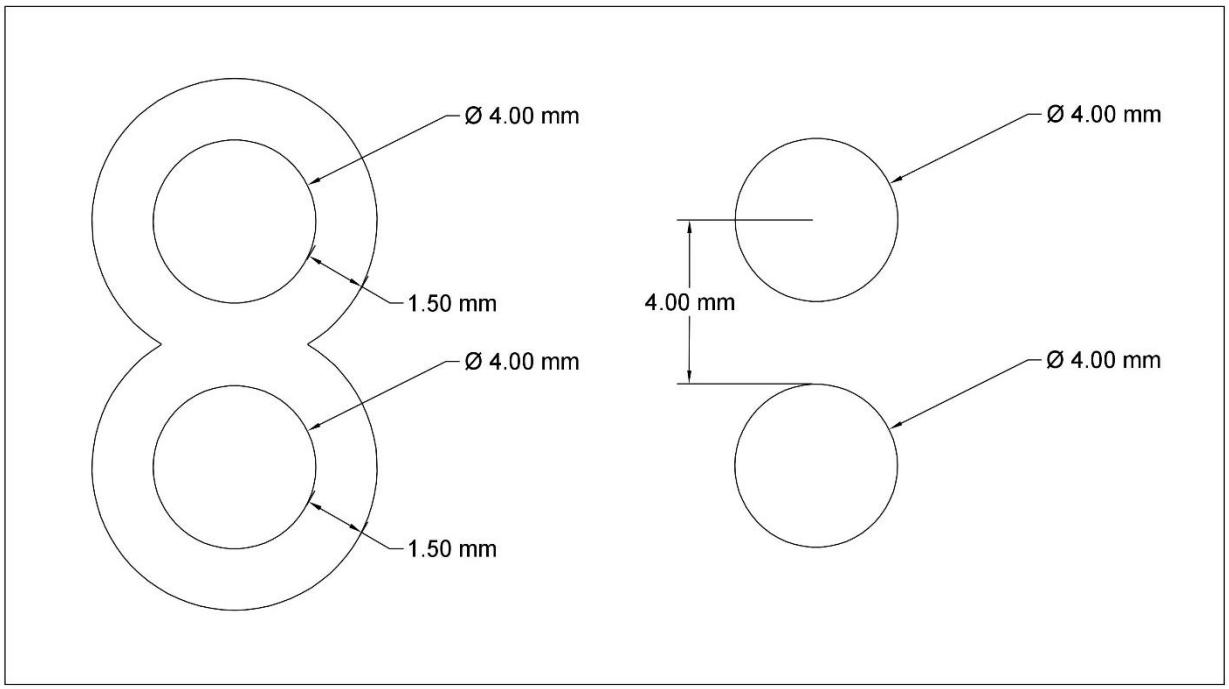


Figura 2: Sección transversal del cable telefónico (modificado) y su equivalente a superficie equipotencial cilíndrica a un potencial de 300 V, paralela a un conductor a potencial cero.

1.2 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO A

Se procede, a diseñar el escenario hipotético para el corredor vial que se muestra en la figura 3; ubicado entre el poste P#394192 (calzada derecha) y el poste P#303728 (calzada izquierda).

1.2.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético

La nomenclatura, las características y ubicación de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético A, se muestran en la tabla 1. La orientación de los ejes cartesianos en los mapas/geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR se muestran en el Anexo 3.

La figura 4, indica el corredor vial equivalente, con el cual, se realizó el escenario hipotético; desestimando los elementos que no influyen considerablemente, en el comportamiento de las señales electromagnéticas.

Figura 3: Corredor vial correspondiente al escenario hipotético A

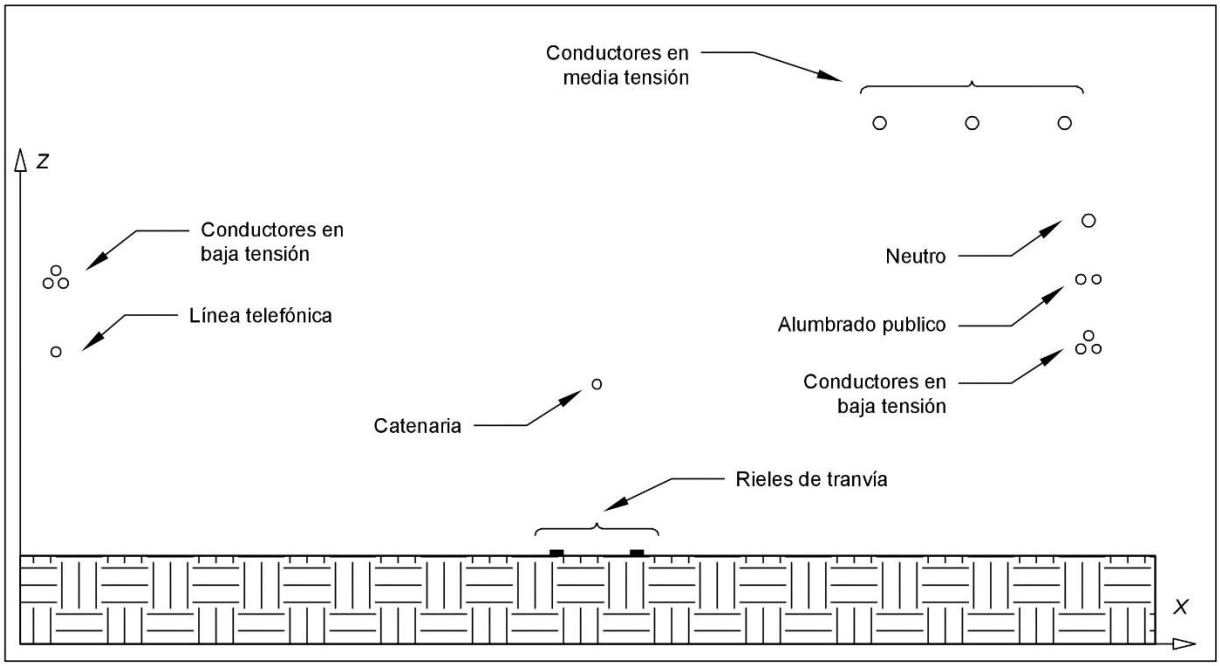


Figura 4: Corredor vial equivalente alusivo al escenario hipotético A

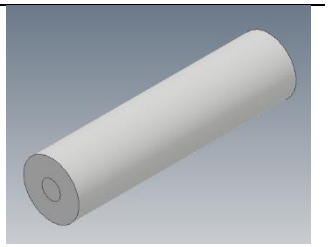
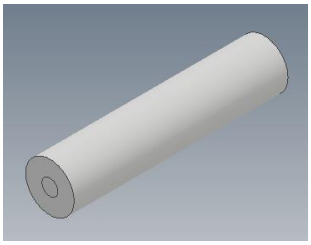
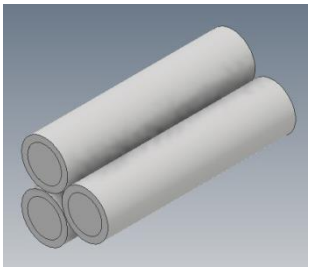
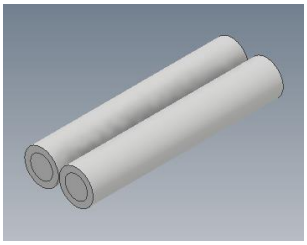
Tabla 0-1: Propiedades, ubicación y nomenclatura de los sistemas electromagnéticos presentes en el corredor vial

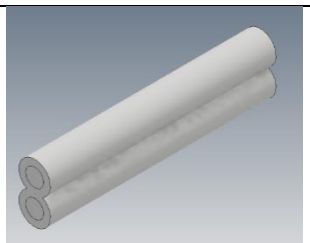
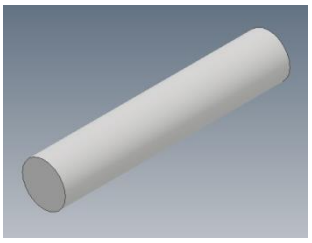
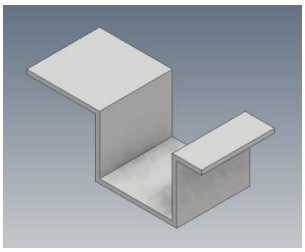
Nomenclatura	Ubicación	Red eléctrica	Estructura	Topología conductores
Sistema EM 1A	P#394192	Media Tensión	ESV - 3VA; ESD-1EP	ACSR 3X3/0(2/0)
Sistema EM 2A	P#394192	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 3A	P#303728	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 4A	P#394192	Alumbrado Publico	1EP	MUL.AL. 2X4
Sistema EM 5A	P#303728	Telefonía Fija	TELMEX 2663005	AWG 2X18
Sistema EM 6A	Parterre	Tranvía	Catenaria Aérea Flexible CA – 160	Cobre desnudo 1/0 Rieles de acero

1.2.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM

Los elementos de campo EM diseñados en el software Inventor se muestran individualmente en la tabla 2. Todo ello, por el reducido tamaño de los elementos y a la ingente distancia de ubicación entre ellos. Las dimensiones (cotas) del escenario hipotético A se muestran en el Anexo 4.

Tabla 0-2: Ubicación cartesiana, y características de diseño de los sistemas electromagnéticos

	Coordenadas (x, y, z)	Descripción	Inventor
Sistema electromagnético 1A	Fase 1 (25080.7, 0, 10887.94) mm Fase 2 (25730.7, 0, 10887.94) mm Fase 3 (26530.7, 0, 10887.94) mm	Conductores tipo ACSR Calibre 3/0 Diámetro interior 4.25 mm Diámetro exterior 12.76 mm	
	Neutro (26940.76, 0, 9237.94) mm	Conductor tipo ACSR Calibre 2/0 Diámetro interior 3.78 mm Diámetro exterior 11.34 mm	
Sistema electromagnético 2A	Calzada derecha Fase 1 (27456.06, 0, 8894.17) mm Fase 2 (27466.82, 0, 8887.94) mm Neutro (27456.06, 0, 8881.71) mm	Preensamblado Aluminio Calibre 50 Diámetro interior 9.06 mm Diámetro exterior 12.26 mm	
Sistema electromagnéticos 3A	Calzada izquierda Fase 1 (2967.01, 0, 9244.17) mm Fase 2 (2977.76, 0, 9237.94) mm Neutro (2967.01, 0, 9231.71) mm		
Sistema electromagnético 4A	Fase 1 (26940.76, 0, 9037.94) mm Fase 2 (26931.66, 0, 9037.94) mm	Multiconductor Aluminio Calibre 4 Diámetro interior 5.86 mm Diámetro exterior 8.9 mm	

Sistema electromagnético 5A	Positivo (2787.76, 0, 8637.98) mm Negativo (2787.76, 0, 8631.98) mm	Cable telefónico Calibre 18 AWG Diámetro interior 4 mm Diámetro exterior 7 mm	
Sistema electromagnético 6A	(14528.7, 0, 7637.94) mm	Cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.45 mm	
	Riel 1 (13738.76, 0, 1487.94) mm Riel 2 (15198.76, 0, 1487.94) mm	Acero Espesor 3 mm Las cotas se muestran en el Anexo 5.	

1.3 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO B

Se estructuró el diseño del escenario hipotético para el corredor vial mostrado en la figura 5; cuya ubicación es el poste P#458956 (calzada derecha) y el poste P#394200 (calzada izquierda).

1.3.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético

La nomenclatura, las características y ubicación de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético B, se muestran en la tabla 3. La orientación de los ejes cartesianos en los mapas/geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR se muestran en el Anexo 6.

La figura 6, muestra el corredor vial equivalente, en el cual, se realizó el escenario hipotético, posterior a validar los elementos que no influyen en el comportamiento de las señales electromagnéticas.

Figura 5: Corredor vial correspondiente al escenario hipotético B

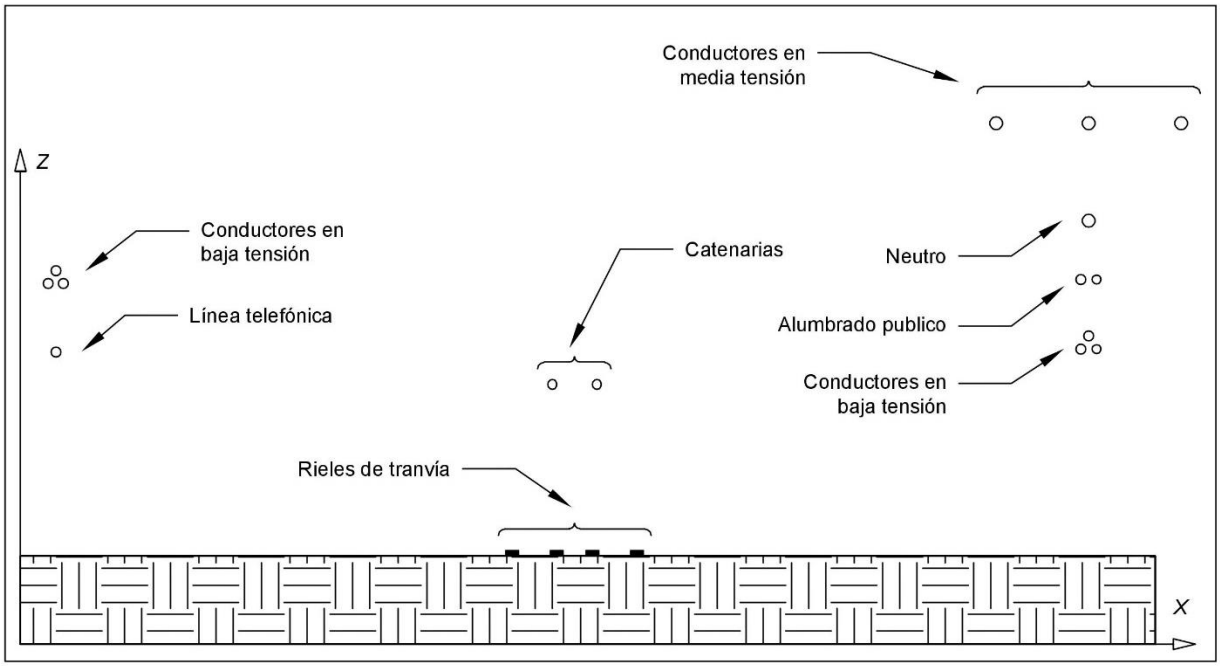


Figura 6: Corredor vial equivalente alusivo al escenario hipotético B

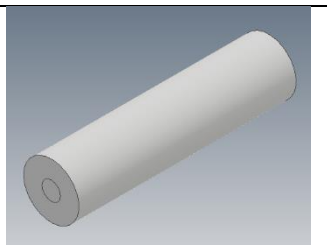
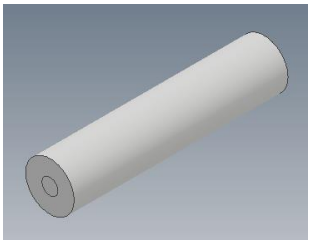
Tabla 0-3: Propiedades, ubicación y nomenclatura de los sistemas electromagnéticos presentes en el corredor vial

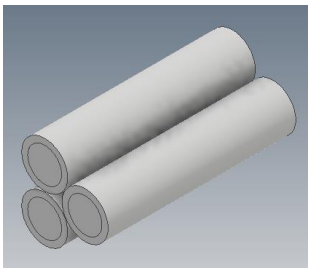
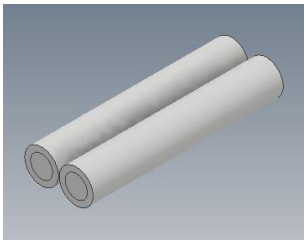
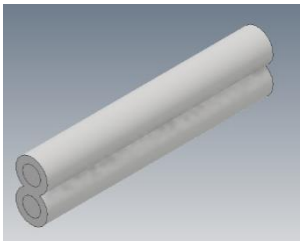
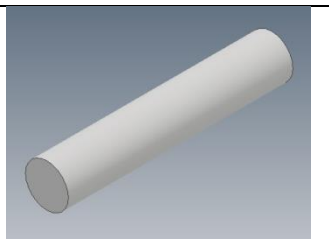
Nomenclatura	Ubicación	Red eléctrica	Estructura	Topología conductores
Sistema EM 1B	P#458956	Media Tensión	ESV – 3SD; ESD-1ED	ACSR 3X3/0(2/0)
Sistema EM 2B	P#458956	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 3B	P#394200	Baja Tensión	1PP4	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 4B	P#458956	Alumbrado Publico	1EP	MUL.AL. 2X4
Sistema EM 5B	P#394200	Telefonía Fija	TELMEX 2663005	AWG 2X18
Sistema EM 6B	Parterre	Catenaria y rieles de Tranvía	Catenaria Aérea Flexible CA – 160	Cobre desnudo 1/0 Rieles de acero

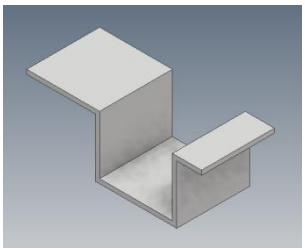
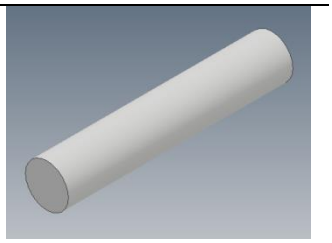
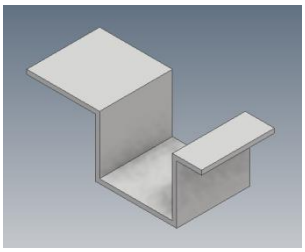
1.3.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM

Los elementos de campo electromagnético diseñados mediante el software Inventor se muestran individualmente en la tabla 4, tomando en cuenta el reducido tamaño de los elementos y a la considerable distancia a la que están ubicados entre sí. Las dimensiones (cotas), del escenario hipotético B se lo muestra en el Anexo 7.

Tabla 0-4: Ubicación cartesiana, y características de diseño de los sistemas electromagnéticos

	Coordenadas (x, y, z)	Descripción	Inventor
Sistema electromagnético 1B	Fase 1 (25546.75, 0, 10037.5) mm Fase 2 (26546.75, 0, 10037.5) mm Fase 3 (26746.75, 0, 10037.5) mm	Conductores tipo ACSR Calibre 3/0 Diámetro interior 4.25 mm Diámetro exterior 12.76 mm	
	Neutro (26456.75, 0, 8437.5) mm	Conductor tipo ACSR Calibre 2/0 Diámetro interior 3.78 mm, diámetro exterior 11.34 mm	

Sistema electromagnético 2B	Calzada derecha Fase 1 (26446.01, 0, 8243.73) mm Fase 2 (26456.75, 0, 8237.5) mm Neutro (26446.01, 0, 8231.27) mm	Preensamblado Aluminio Calibre 50 Diámetro interior 9.06 mm Diámetro exterior 12.26 mm	
Sistema electromagnético 3B	Calzada izquierda Fase 1 (688.01, 0, 8393.73) mm Fase 2 (698.75, 0, 8387.5) mm Neutro (688.01, 0, 8381.27) mm		
Sistema electromagnético 4B	Fase 1 (26456.75, 0, 8387.5) mm Fase 2 (26447.65, 0, 8387.5) mm	Multiconductor Aluminio Calibre 4 Diámetro interior 5.86 mm Diámetro exterior 8.9 mm	
Sistema electromagnético 5B	Positivo (628.75, 0, 7787.5) mm Negativo (628.75, 0, 7781.5) mm	Cable telefónico Calibre 18 AWG Diámetro interior 4 mm Diámetro exterior 7 mm	
Sistema ferroviario I			
Sistema electromagnético 6B1	(13730.75, 0, 6787.5) mm	Cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.45 mm	

	Riel 1 (13728.75, 0, 637.5) mm Riel 2 (14400.75, 0, 637.5) mm	Acero Espesor 3 mm Las cotas se muestran en el Anexo 5.	
Sistema ferroviario II			
Sistema electromagnético 6B2	(13058.75, 0, 6787.5) mm	Cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.45 mm	
	Riel 1 (12268.77, 0, 637.5) mm Riel 2 (12940.75, 0, 637.5) mm	Acero Espesor 3 mm Las cotas se muestran en el Anexo 5.	

1.4 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO C

A continuación, se diseñó el escenario hipotético para corredor vial que se muestra en la figura 7; ubicado entre el poste P#303733 (calzada izquierda) y la red subterránea de media tensión trifásica (calzada derecha).

1.4.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético

La nomenclatura, las características y ubicación de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético C, se muestran en la tabla 5. La orientación de los ejes cartesianos en los mapas/geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR se muestran en el Anexo 8.

En la figura 8, se indica el corredor vial equivalente del escenario hipotético, descartando los elementos que no influyen en el comportamiento de las señales electromagnéticas.

Figura 7: Corredor vial correspondiente al escenario hipotético C

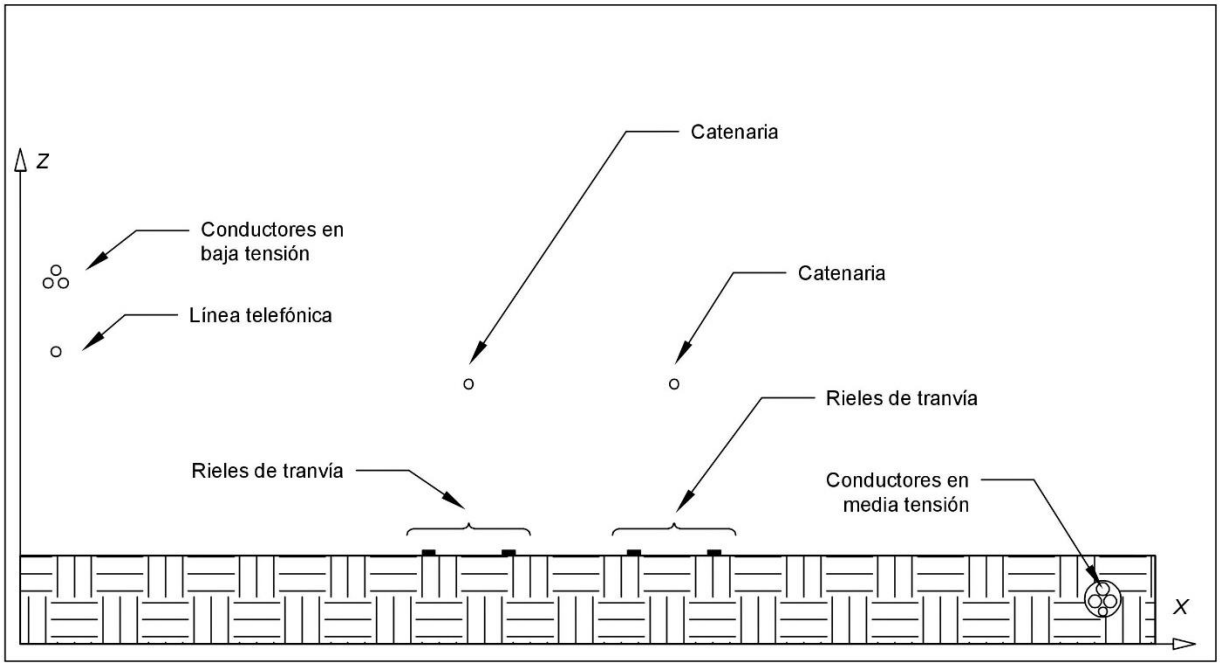


Figura 8: Corredor vial equivalente alusivo al escenario hipotético C

Tabla 0-5: Propiedades, ubicación y nomenclatura de los sistemas electromagnéticos presentes en el corredor vial

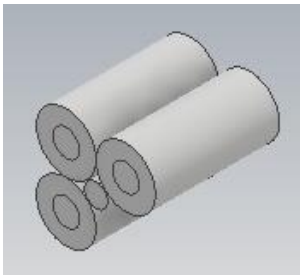
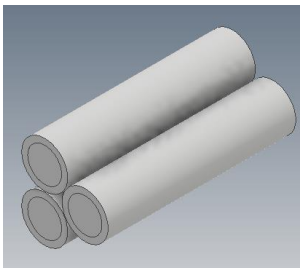
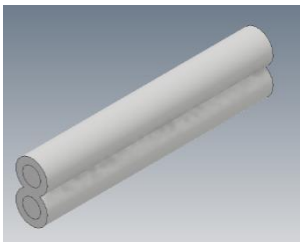
Nomenclatura	Ubicación	Red eléctrica	Estructura	Topología conductores
Sistema EM 1C	Calzada derecha	Media Tensión	Subterránea	25KV CU 3X3/0 Cobre desnudo 1/0
Sistema EM 3C	P#303733	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 5C	P#303733	Telefonía Fija	TELMEX 2663005	AWG 2X18
Sistema EM 6C	Parterre	Tranvía	Catenaria Aérea Flexible CA – 160	Cobre desnudo 1/0 Rieles de Acero

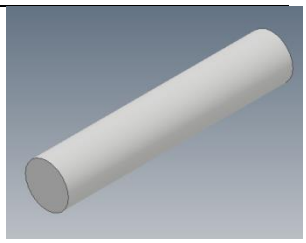
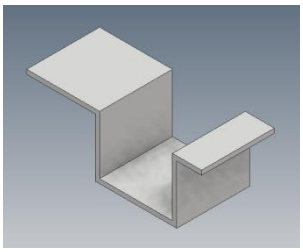
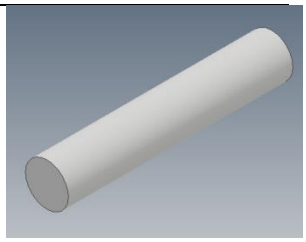
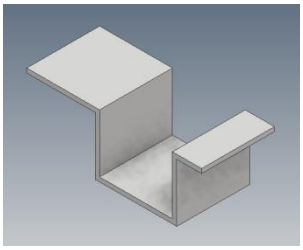
1.4.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de sistemas EM

Los elementos de campo electromagnético diseñados mediante el software Inventor se muestran individualmente en la tabla 6, respecto al reducido tamaño de los elementos y la ingente distancia

a la que están ubicados entre sí. Las dimensiones (cotas), de este escenario hipotético se muestran en el Anexo 9.

Tabla 0-6: Ubicación cartesiana, y características de diseño de los sistemas electromagnéticos

	Coordenadas (x, y, z)	Descripción	Inventor
Sistema electromagnético 1C	Fase 1 (29028.36, 0, 1398.41) mm Fase 2 (29004.34, 0, 1398.41) mm Fase 3 (29004.34, 0, 1374.39) mm Neutro (29016.42, 0, 1386.3) mm	Conductores cobre, 25KV Calibre 3/0 Diámetro interior 10.8 mm Diámetro exterior 24 mm Conductor cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.36 mm	
Sistema electromagnético 3C	Fase 1 (3161.61, 0, 10054.64) mm Fase 2 (3172.36, 0, 10048.41) mm Neutro (3161.61, 0, 10042.18) mm	Preensamblado Aluminio Calibre 50 Diámetro interior 9.06 mm Diámetro exterior 12.26 mm	
Sistema electromagnético 5C	Positivo (3102.36, 0, 9442.41) mm Negativo (3102.36, 0, 9448.41) mm	Cable telefónico Calibre 18 AWG Diámetro interior 4 mm Diámetro exterior 7 mm	
Sistema ferroviario I			

Sistema electromagnético 6C1	(20078.36, 0, 8448.41) mm	Cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.45 mm	
	Riel 1 (19288.36, 0, 2298.41) mm Riel 2 (20748.36, 0, 2298.41) mm	Acero Espesor 3 mm Las cotas se muestran en el Anexo 5.	
Sistema ferroviario II			
Sistema electromagnético 6C2	(16320.36, 0, 8448.41) mm	Cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.45 mm	
	Riel 1 (15530.36, 0, 2298.41) mm Riel 2 (17110.36, 0, 2298.41) mm	Acero Espesor 3 mm Las cotas se muestran en el Anexo 5.	

1.5 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO D

Se diseñó el escenario hipotético para el corredor vial que se muestra en la figura 9; ubicado entre el poste P#60350 (calzada izquierda) y la red subterránea de media tensión trifásica (calzada derecha).

1.5.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético

La nomenclatura, las características y ubicación de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético D, se muestran en la tabla 7. La orientación de los ejes cartesianos en los mapas/geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR se muestran en el Anexo 10.

En la figura 10, se observa el corredor vial equivalente con el cual se realizó el escenario hipotético, descartando los elementos que no influyen en el comportamiento de las señales electromagnéticas.

Figura 9: Corredor vial correspondiente al escenario hipotético D

Tabla 0-7: Propiedades, ubicación y nomenclatura de los sistemas electromagnéticos presentes en el corredor vial

Nomenclatura	Ubicación	Red eléctrica	Estructura	Topología conductores
Sistema EM 1D	Calzada derecha	Media Tensión	Subterránea	25KV CU 3X3/0 Cobre desnudo 1/0
Sistema EM 3D	P#60350	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 5D	P#60350	Telefonía Fija	TELMEX 2663005	AWG 2X18

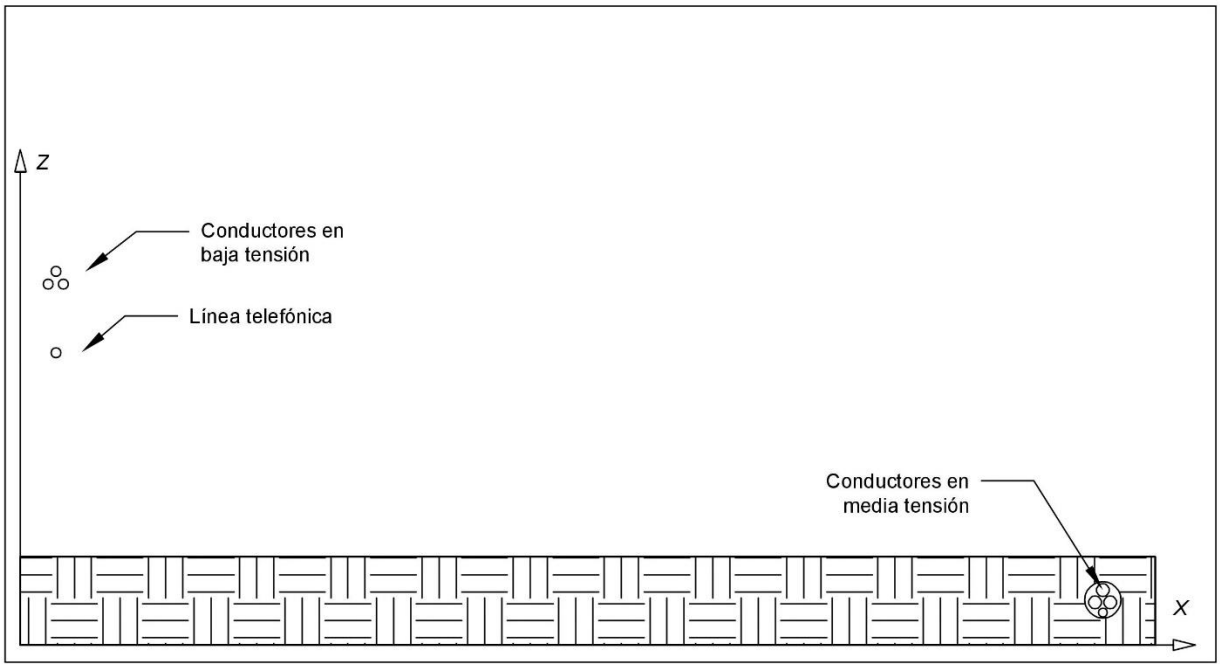
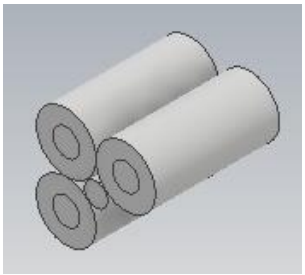
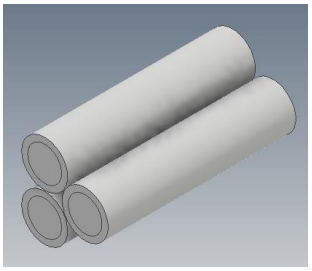
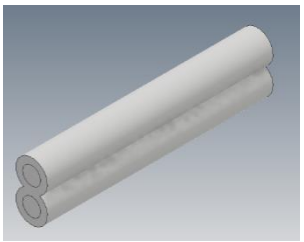


Figura 10: Corredor vial equivalente alusivo al escenario hipotético D

1.5.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM

Los elementos de campo electromagnético diseñados mediante el software Inventor se muestran individualmente en la tabla 8. Las dimensiones (cotas), del escenario hipotético D se muestran en el Anexo 11.

Tabla 0-8: Ubicación cartesiana, y características de diseño de los sistemas electromagnéticos

	Coordenadas (x, y, z)	Descripción	Inventor
Sistema electromagnético 1D	Fase 1 (39425.56, 0, 1398.42) mm Fase 2 (39401.54, 0, 1398.42) mm Fase 3 (39401.54, 0, 1374.40) mm Neutro (39413.54, 0, 1386.40) mm	Conductores cobre, 25KV Calibre 3/0 Diámetro interior 10.8 mm Diámetro exterior 24 mm Conductor cobre desnudo Calibre 1/0 Diámetro 9.36 mm	
Sistema electromagnético 3D	Fase 1 (4116.81, 0, 10052.65) mm Fase 2 (4117.56, 0, 10048.42) mm Neutro (4116.81, 0, 10042.19) mm	Preensamblado Aluminio Calibre 50 Diámetro interior 9.06 mm Diámetro exterior 12.26 mm	
Sistema electromagnético 5D	Positivo (4047.56, 0, 9442.41) mm Negativo (4047.56, 0, 9436.41) mm	Cable telefónico Calibre 18 AWG Diámetro interior 4 mm Diámetro exterior 7 mm	

1.6 DISEÑO DEL ESCENARIO HIPOTÉTICO E

Se diseñó el escenario hipotético para corredor vial (figura 11); ubicado entre el poste P#354648 (calzada derecha) y P#394203 (calzada izquierda).

1.6.1 Propiedades y ubicación de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético

La nomenclatura, las características y ubicación de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético E, se muestran en la tabla 9. La orientación de los ejes cartesianos en los mapas/geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR se muestran en el Anexo 12.

En la figura 12, se indica el corredor vial equivalente, considerando los mimos criterios que los anteriores. Con el cual, se realizó el escenario hipotético, una vez que se han despreciado los elementos que no influyen de manera considerable, en el comportamiento de las señales electromagnéticas.

Figura 11: Corredor vial correspondiente al escenario hipotético E

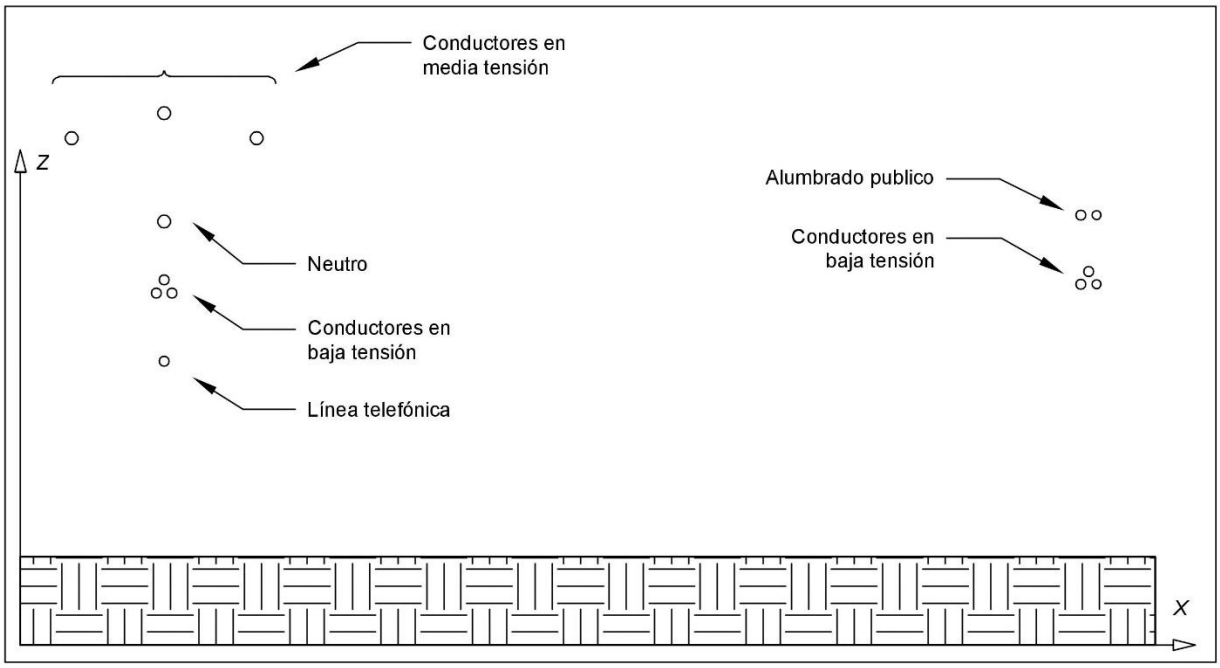


Figura 12: Corredor vial equivalente alusivo al escenario hipotético E

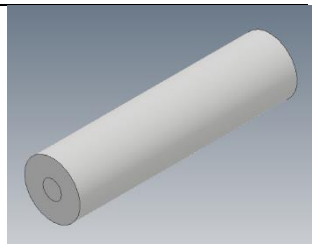
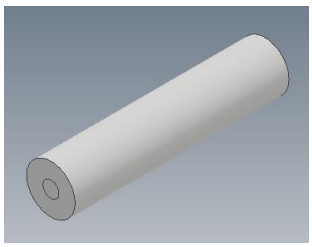
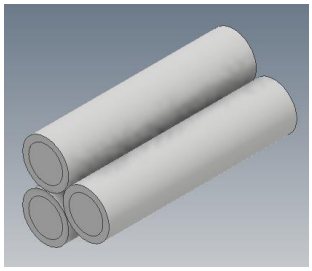
Tabla 0-9: Propiedades, ubicación y nomenclatura de los sistemas electromagnéticos presentes en el corredor vial

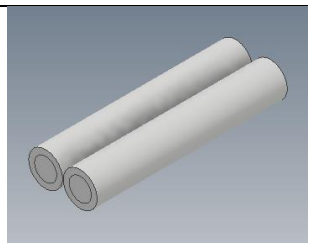
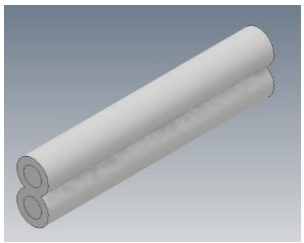
Nomenclatura	Ubicación	Red eléctrica	Estructura	Topología conductores
Sistema EM 1E	P#394203	Media Tensión	ESV – 3CP; ESD-1EP	ACSR 3X3/0(2/0)
Sistema EM 2E	P#394203	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 3E	P#354648	Baja Tensión	1PP3	PRE. AL. 2X50(50)
Sistema EM 4E	P#354648	Alumbrado Publico	1EP	MUL.AL. 2X4
Sistema EM 5E	P#394203	Telefonía Fija	TELMEX 2663005	AWG 2X18

1.6.2 Disposición cartesiana y especificaciones de diseño de los sistemas EM

Los elementos de campo electromagnético diseñados mediante el software Inventor se muestran individualmente en la tabla 10. Las dimensiones (cotas), del escenario hipotético D se muestran en el Anexo 13.

Tabla 0-10: Ubicación cartesiana, y características de diseño de los sistemas electromagnéticos

	Coordenadas (x, y, z)	Descripción	Inventor
Sistema electromagnético 1E	Fase 1 (1994.94, 0, 11450.3) mm Fase 2 (3194.94, 0, 11900.3) mm Fase 3 (4294.94, 0, 11450.3) mm	Conductores tipo ACSR Calibre 3/0 Diámetro interior 4.25 mm Diámetro exterior 12.76 mm	
	Neutro (3384.94, 0, 10000.3) mm	Conductor tipo ACSR Calibre 2/0 Diámetro interior 3.78 mm Diámetro exterior 11.34 mm	
Sistema electromagnético 2E	Calzada izquierda Fase 1 (3374.19, 0, 9606.54) mm Fase 2 (3384.94, 0, 9600.31) mm Neutro (3374.19, 0, 9594.08) mm		
Sistema electromagnético 3E	Calzada derecha Fase 1 (26781.19, 0, 10906.5) mm Fase 2 (26791.94, 0, 10900.3) mm Neutro (26781.19, 0, 10894.2) mm	Preensamblado Aluminio Calibre 50 Diámetro interior 9.06 mm Diámetro exterior 12.26 mm	

Sistema electromagnético 4E	Fase 1 (26791.94, 0, 11050.3) mm Fase 2 (26782.84, 0, 11050.3) mm	Multiconductor Aluminio Calibre 4 Diámetro interior 5.86 mm Diámetro exterior 8.9 mm	
Sistema electromagnético 5E	Positivo (3314.95, 0, 9000.3) mm Negativo (3314.95, 0, 8994.3) mm	Cable telefónico Calibre 18 AWG Diámetro interior 4 mm Diámetro exterior 7 mm	

CAPÍTULO II: OBTENCIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE LOS ACOPLAMIENTOS ELECTROMAGNÉTICOS

El presente acápite aborda detalladamente, las distintas etapas para la obtención de los campos vectoriales (Stewart, Campos Vectoriales, 2012), que se producen por el acoplamiento de los campos eléctricos (Sadiku, Campos eléctricos debidos a distribuciones continuas de carga, 2003) y magnéticos (Sadiku, Densidad de flujo magnético , 2003). En los diferentes escenarios hipotéticos (A-E) del corredor vial de la avenida México, diseñados en el software (Inventor) en el capítulo anterior.

El software utilizado para obtener las siluetas electromagnéticas es Ansys Maxwell; el cual permitió obtener valores de campo electromagnético por separado. A partir de ello, se aplicó dos análisis; uno para la parte eléctrica y otro para la magnética; empleando los módulos *electrostatic* y *magnetostatic* respectivamente (ANSYS, 2013).

Para obtener los efectos del acoplamiento electromagnético, se debe conocer los valores de voltaje y corriente de cada una de los sistemas EM; es por ello, se empleó el geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR para identificar los niveles de voltaje en las redes eléctricas.

Los valores máximos de corriente en media tensión, fueron proporcionados por la Empresa Eléctrica CENTROSUR, registrados en abril de 2018; mientras que, las magnitudes de corriente en baja tensión, se calcularon suponiendo trasformadores monofásicos (que alimentan las redes); operando a una potencia nominal.

Los voltajes y corrientes a implementar en el software, deben ser de línea, con ello se asumió un tiempo t=0 y a los sistemas eléctricos trifásicos como equilibrados (Irwin, 1997).

En el desarrollo del proyecto no se consideraron caídas de tensión acumuladas en las redes eléctricas; ya sean, de media/baja tensión, alumbrado público, telefonía fija y/o catenarias del

tranvía, puesto que, los vanos estudiados son reducidos, produciéndose caídas de tensión despreciables.

Para obtener los valores de corriente (baja tensión) en el vano deseado se conoció el número de clientes conectados a la red y el valor de la potencia que se suministra; los datos se obtuvieron del geo portal de la Empresa Eléctrica CENTROSUR, referenciados por el número de medidores que se alimentan en la red y la potencia suministrada es igual al valor de la potencia nominal del(los) transformador(es).

2.1 PROBABILIDADES DE OCURRENCIA EN EVENTOS DE CONSUMO ENERGÉTICO

Los valores de corriente en los conductores que conforman la red de baja tensión, se definen a través de la probabilidad de ocurrencia de los eventos (Walpole, 1999), descritas en la tabla 11; donde el evento 1, corresponde a la ocurrencia que el cliente, esté conectado en la red de baja tensión con la línea 1 y el neutro alimentando su carga residencial que opera a 120 V; mientras que, el evento 2, se refiere a la ocurrencia que determinado cliente esté conectado a la red de baja tensión con la línea 2 y el neutro alimentando su carga residencial que opera a 120 V.

Tabla 0-11: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo de energía eléctrica

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Conexión línea 1 y neutro	P(1)	120
2	Conexión línea 2 y neutro	P(2)	120
3	Conexión línea 1, 2 y neutro	P(3)	240

Finalmente, el evento 3, se refiere a la probabilidad de ocurrencia, que el cliente esté conectado a la red de baja tensión con ambas líneas (1 y 2) y el neutro alimentando su carga residencial a 240

V. La carga residencial a 240 V, es aquella que implica al uso de cocinas de inducción y demás electrodomésticos y/o maquinaria eléctrica que funcione a ese nivel de voltaje.

Las probabilidades $P(1)$ y $P(2)$, poseen valores similares, pues, se asume que las redes de baja tensión tienen un ligero desequilibrio; por otra parte, la probabilidad $P(3)$, será reducida debido a la escaza implementación de cocinas de inducción y demás cargas a 240 V en zonas residenciales.

2.2 OBTENCIÓN DE LA MAGNITUD DE CORRIENTE EN LAS FUENTES ELECTROMAGNÉTICAS ASOCIADAS A LÍNEAS DE TELEFONÍA FIJA

Al analizar las líneas telefónicas como únicas emisoras de campos electromagnéticos asociados a sistemas de comunicaciones, se utilizó la misma magnitud de corriente para todos los escenarios del corredor vial; misma que, se obtuvo de la siguiente expresión matemática: (Joskowicz, 2015)

$$I = \frac{V}{R_i + 2 * R_1 + R_2} = \frac{50V}{600\Omega + 2 * 85\Omega + 400\Omega} = 42.735mA$$

Donde:

$R_i = 600\Omega$ → Resistencia interna de la fuente (Central o PBX)

$R_1 = 85\Omega$ → Resistencia del conductor

$R_2 = 400\Omega$ → Resistencia interna del aparato telefónico

2.3 OBTENCIÓN DE LA MAGNITUD DE CORRIENTE EN LAS FUENTES ELECTROMAGNÉTICAS ASOCIADAS A LA ENERGIZACIÓN DEL TRANVÍA

Para la obtención de corrientes y voltajes en el sistema electromagnético 6 (catenaria/rieles del tranvía), se recurrió a información del proyecto técnico de enfoque investigativo “Análisis del

impacto eléctrico del material rodante tranvía de la ciudad de Cuenca en la línea de corriente continua “.

El sistema ferroviario del tranvía en la ciudad de Cuenca es extenso, para el interés del estudio, será la parada “Avenida México”, específicamente, el tranvía que circula en el carril derecho; es por estos rieles donde se ingresa a la terminal del CREA. En este punto la corriente alcanza un valor de 702.13 A, -en la etapa de régimen permanente-, tensión en la catenaria de 751.3 V (Ortega Pintado, 2017).

2.4 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO A

2.4.1 Acoplamiento de campos eléctricos

Se obtuvo los campos vectoriales producidos por los eléctricos, para ello, fue necesario conocer los valores de voltaje en cada uno de los sistemas electromagnéticos. Los voltajes y ubicación de los SEM presentes en el escenario hipotético A, se muestran en la tabla 12.

Tabla 0-12: Magnitudes de voltaje de los sistemas electromagnéticos

Nomenclatura	Ubicación	Red Eléctrica	Voltaje [V]
Fuente electromagnética 1A	P#394192	Media Tensión	22000
Fuente electromagnética 2A	P#394192	Baja Tensión	240
Fuente electromagnética 3A	P#303728	Baja Tensión	240
Fuente electromagnética 4A	P#394192	Alumbrado Publico	120
Fuente electromagnética 5A	P#303728	Telefonía Fija	50
Fuente electromagnética 6A	Parterre	Catenaria Tranvía	750

2.4.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Se procedió a descomponer el valor de voltaje en cada conductor de los diferentes sistemas de tensión que tiene el corredor vial del escenario hipotético A. Los niveles de tensión de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestran en la tabla 13; los valores de voltaje están medidos respecto del neutro (voltajes de línea), para un tiempo t=0.

Tabla 0-13: Niveles de voltaje en los conductores de los sistemas EM

Nº	Red eléctrica	Sistema	Configuración	Conductor	Voltaje [V]
1A	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	12700
				Línea 2	-6350
				Línea 3	-6350
				Neutro	0
2A	Baja Tensión	Bifásico	1F3C	Línea 1	120
				Línea 2	-120
				Neutro	0
3A	Baja Tensión	Bifásico	1F3C	Línea 1	120
				Línea 2	-120
				Neutro	0
4A	Alumbrado Publico	Monofásico	1F2C	Línea 1	120
				Línea 2	0
5A	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	50
				Negativo	0
6A	Tranvía	Monofásico	1F3C	Catenaria	751.3
				2 Rieles	0

Una vez encontrados los valores del voltaje (de línea), en cada uno de los conductores; se obtuvo el campo vectorial que producen las distintas fuentes de campo eléctrico. En la figura 13, se aprecia el efecto de acoplamiento eléctrico producido en este escenario hipotético.

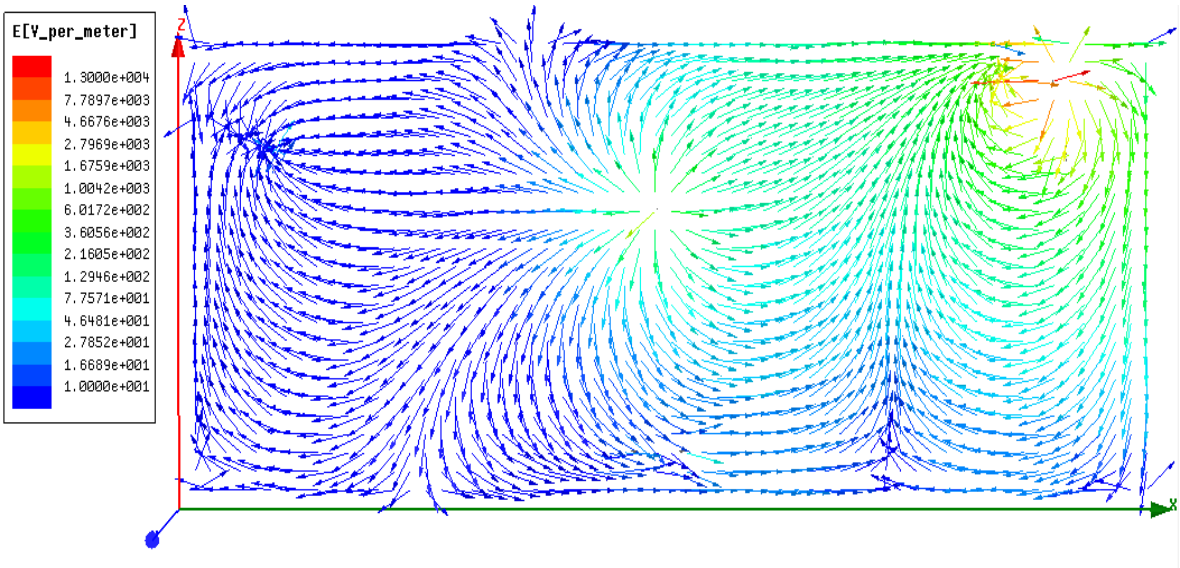


Figura 13: Acoplamiento de campos eléctricos alusivos al escenario hipotético A

2.4.2 Acoplamiento de campos magnéticos

Se procedió a obtener los campos vectoriales producidos por los magnéticos, tomando como referencia los valores de corriente, de cada uno de los SEM.

2.4.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 2 A

Para obtener el valor de corriente en el sistema electromagnético 2; se identificó el número y ubicación de los clientes conectados a la red de baja tensión, además, de las características técnicas de los transformadores que suministran energía, los cuales, se muestran en la tabla 14.

Tabla 0-14: Propiedades de suministro y consumo de energía en la red de baja tensión asociada al sistema electromagnético 2 A

Nº	Ubicación (Poste)	Transformador	Nº Medidor
1	P#486316	-	-
2	P#394192	-	-
3	P#348249	-	-
4	P#348264	19926 - 37.5 KVA	-
5	P#348250	-	-
6	P#394206	-	-

7	P#352535	-			4647095
8	P#458956	19573 KVA	-	37.5	-

Interesa conocer el valor de la corriente del vano que se ubica entre los postes P#486316 y P#394192; al respecto, se manejó las cargas (clientes) conectadas en los tramos. Como se apreciar en la tabla 14, no existen clientes conectados en los puntos de interés, razón por la cual, la corriente en el sistema electromagnético 2 A es igual a cero; consecuentemente, las corrientes en cada uno de los conductores serán:

$$IL_1 = 0A$$

$$IL_2 = 0A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 0A$$

2.4.2.2 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 A

Se determinó el valor de corriente en el sistema electromagnético 3 A; identificando el número de clientes conectados en la red de baja tensión y los datos de los transformadores que suministran energía.

Tabla 0-15: Propiedades de suministro y consumo de energía en la red de baja tensión asociada al sistema electromagnético 3A

Nº	Ubicación	Transformadores	Nº Medidores	
1	P#303727	-	3557626;318923;318659;4878997;318667; 1455047;318683	7
2	P#303728	-	3938909;3938891;1803584;4913216;1202159; 4885489;4904157;3230943;319046;4312047; 318675;1699883;4450508;3709516	14
3	P#481011	-	319152	1
4	P#479899	-	2086049	1
5	P#481012	-	3513223;1927649;319004;1852458;318998;	9

			3556958;3556941;319012;319020	
6	P#479898	-	318980;1967819;3442332;3555109;319038; 3555091;3250776	7
7	P#478659	19933-37.5KVA; 19930-37.5KVA	3601580;319160;3686318;319186;319178;319194	6
8	P#303731	-	3161387;1642610;3696994;319202;3590791; 3157906;2054047	7
9	P#63268	-	319210;4730321;319228;319251;319236;319269; 319244;319277	8
10	P#60366	-	-	0
11	P#327232	-	319285; 4756037; 4756045;3350345	4
12	P#289411	-	1606250;1589514; 319293	3
13	P#303732	-	3680121;3167608; 3431715; 319301;	4
14	P#89763	-	319319	1
15	P#278531	-	1995216; 3393469; 1142769; 1699644	4
16	P#278532	-	1142777; 3550654; 3922101	3

El vano estudiado, se ubica entre los postes P#303728 y P#481011; para el cálculo, se asumió que los transformadores funcionan a su máxima potencia y que la energía se distribuye de manera uniforme a los abonados. De esta manera se tiene:

$$S_i = (2 * 37.5KVA) = 75KVA$$

Siendo S_i, el valor de corriente máxima que los transformadores 19933 y 19930, podrían entregar a la red de baja tensión sin sobrecargarse. Con ello, se estableció el valor de energía consumida en todas las posibles configuraciones de red; referenciados con la probabilidad de ocurrencia de los eventos siguientes:

Tabla 0-16: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético en la red eléctrica de baja tensión asociada a la fuente electromagnética 3

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Conexión línea 1 y neutro	55%	120
2	Conexión línea 2 y neutro	40%	120
3	Conexión línea 1, 2 y neutro	5%	240

Aplicando los datos en las ecuaciones se tiene:

$$S_{\mathrm{i}1} = S_i * P(1) = 75KVA * 0.55 = 41.25KVA$$

$$S_{\mathrm{i}2} = S_i * P(2) = 75KVA * 0.40 = 30\mathrm{KVA}$$

$$S_{\mathrm{i}3} = S_i * P(3) = 75KVA * 0.05 = 3.75KVA$$

A partir del cálculo, se determinó las potencias de cada evento, consumidas a través del vano analizado. Para ello, se empleó las siguientes expresiones:

$$S_{j1} = \frac{S_{i1} * n_v}{n_t} = \frac{41.25KVA * 21}{79} = 10.965KVA$$

$$S_{j2} = \frac{S_{i2} * n_v}{n_t} = \frac{30\mathrm{KVA} * 21}{79} = 7.975\mathrm{KVA}$$

$$S_{j3} = \frac{S_{i3} * n_v}{n_t} = \frac{3.75KVA * 21}{79} = 0.9968KVA$$

Donde:

$n_t = 79$ → Es el número total de clientes conectados en la red de baja tensión.

$n_v = 21$ →Es el número de clientes que adquieren energía del vano analizado (P#303727 Y P#303728).

De igual forma, se obtuvieron los valores de corriente que se producen en los distintos eventos de probabilidad.

$$I_1 = \frac{S_{j1}}{V_1} = \frac{10.965KVA}{120\mathrm{V}} = 91.3765A$$

$$I_2 = \frac{S_{j2}}{V_2} = \frac{7.975\text{KVA}}{120\text{V}} = 66.456\text{A}$$

$$I_3 = \frac{S_{j3}}{V_3} = \frac{996.8VA}{240\text{V}} = 4.1535A$$

Para encontrar el valor de corriente que circula en los conductores del SEM 3, se calculó:

$$IL_1 = I_1 + I_3 = 91.3765A + 4.1535A = 95.530A$$

$$IL_2 = I_2 + I_3 = 66.456\text{A} + 4.1535A = 70.609A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 95.530A - 70.609A = 24.921A$$

2.4.2.3 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 4 A

El valor de corriente en el sistema electromagnético 4 A (alumbrado público) se identificó a través del número y la potencia de las luminarias desde el transformador hasta el final del circuito; determinando el valor de corriente en el punto de interés.

El sistema, se encuentra ubicado en el poste P#394192; a través del geo portal se estableció la cantidad y potencia de las luminarias que se alimentan en este vano. Las luminarias se ubican desde el transformador T#19926 hasta el poste P#486316.

$$I = \frac{\sum P}{V} = \frac{2(250W)}{120V} = 4.17A$$

2.4.2.4 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas emisores/receptores de campo electromagnético

Se descompone el valor de corriente en cada conductor de las redes eléctricas presentes en el corredor vial del escenario hipotético A. Los valores de corriente de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestran en la tabla 17.

Los valores en media tensión de: corriente, caídas de tensión, factores de potencia y demás datos -proporcionados por la Empresa Eléctrica CENTROSUR- se muestran en el Anexo 14. Haciendo uso del factor de potencia y la magnitud de corriente que se tiene en media tensión; se calculó los valores de las corrientes en el sistema electromagnético 1A.

Tabla 0-17: Magnitudes de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Fuente EM	Sistema	Configuración	Conductor	Corriente (A)
1A	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	5.235
				Línea 2	-2.810
				Línea 3	-2.425
				Neutro	0
2A	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	0
				Línea 2	0
				Neutro	0
3A	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	95.530
				Línea 2	-70.609
				Neutro	-24.921
4A	Alumbrado Publico	Monofásico	1F2C	Línea 1	4.17
				Línea 2	-4.17
5A	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	0.042735
				Negativo	-0.042735
6A	Tranvía	Monofásico	1F3C	Catenaria	702.13
				2 Rieles	2(-351.065)

Una vez encontrados los valores de corriente (de línea), en cada uno de los conductores; se determinó el campo vectorial que se produce por el acoplamiento de los campos magnéticos emanados desde las distintas fuentes. En la figura 14, se aprecia el efecto de acoplamiento magnético producido en este escenario hipotético.

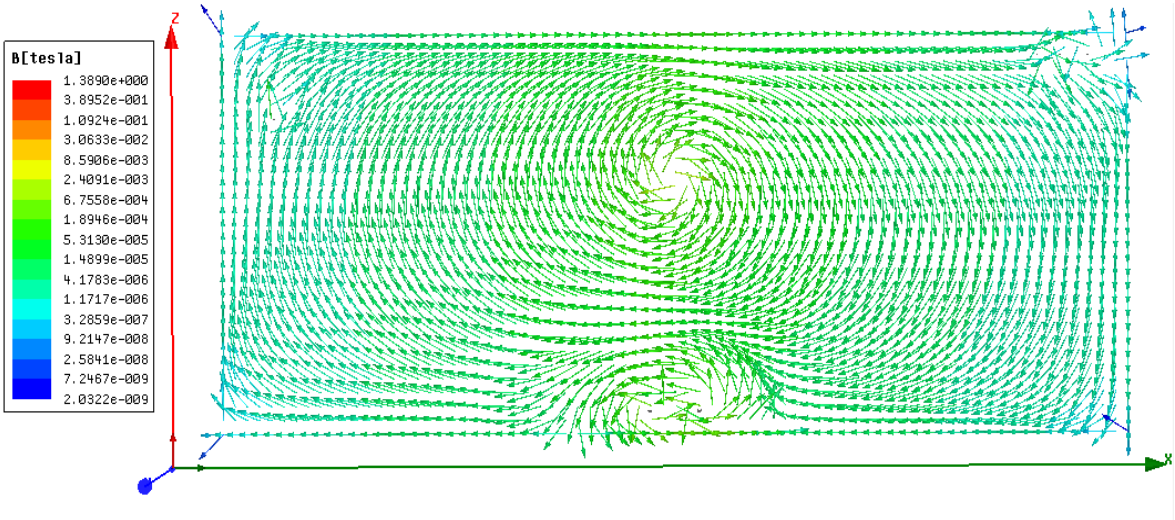


Figura 14: Acoplamiento de campos magnéticos alusivos al escenario hipotético A

2.5 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO B

2.5.1 Acoplamiento de campos eléctricos

Se obtuvo los campos vectoriales producidos por los eléctricos, conociendo los valores de voltaje en cada uno de los conductores eléctricos. Los voltajes de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético B, se muestran en la tabla 18.

Tabla 0-18: Magnitudes de voltaje de los sistemas electromagnéticos

Nomenclatura	Ubicación	Red eléctrica	Voltaje
Sistema electromagnético 1B	P#458956	Media Tensión	22000
Sistema electromagnético 2B	P#458956	Baja Tensión	240
Sistema electromagnético 3B	P#394200	Baja Tensión	240
Sistema electromagnético 4B	P#458956	Alumbrado Publico	120
Sistema electromagnético 5B	P#394200	Telefonía Fija	50
Sistema electromagnético 6B	Parterre	Tranvía	750

2.5.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Se descompone el valor de voltaje en cada conductor, de los sistemas de tensiones que tiene el corredor vial del escenario hipotético B. Los niveles de tensión de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestran en la tabla 19; los valores de voltaje se midieron con respecto del neutro (voltajes de línea), para un tiempo t=0.

Tabla 0-19: Magnitudes de voltaje en los conductores de los sistemas EM

Nº	Red eléctrica	Sistema Eléctrico	Configuración	Conductor	Voltaje (V)
1B	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	12700
				Línea 2	-6350
				Línea 3	-6350
				Neutro	0
2B	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	120
				Línea 2	-120
				Neutro	0
3B	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	120
				Línea 2	-120
				Neutro	0
4B	Alumbrado Publico	Monofásico	1F2C	Línea 1	120
				Línea 2	0
5B	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	50
				Negativo	0
6B1	Sistema ferroviario I	Monofásico	1F3C	Catenaria	751.3
				Rieles	0
6B2	Sistema ferroviario II	Monofásico	1F3C	Catenaria	751.3
				Rieles	0

Una vez encontrados los valores del voltaje (de línea) en cada uno de los conductores; se determinó el campo vectorial que producen las distintas fuentes de campo eléctrico. En la figura 15, se aprecia el efecto de acoplamiento de campos eléctricos, en este escenario hipotético.

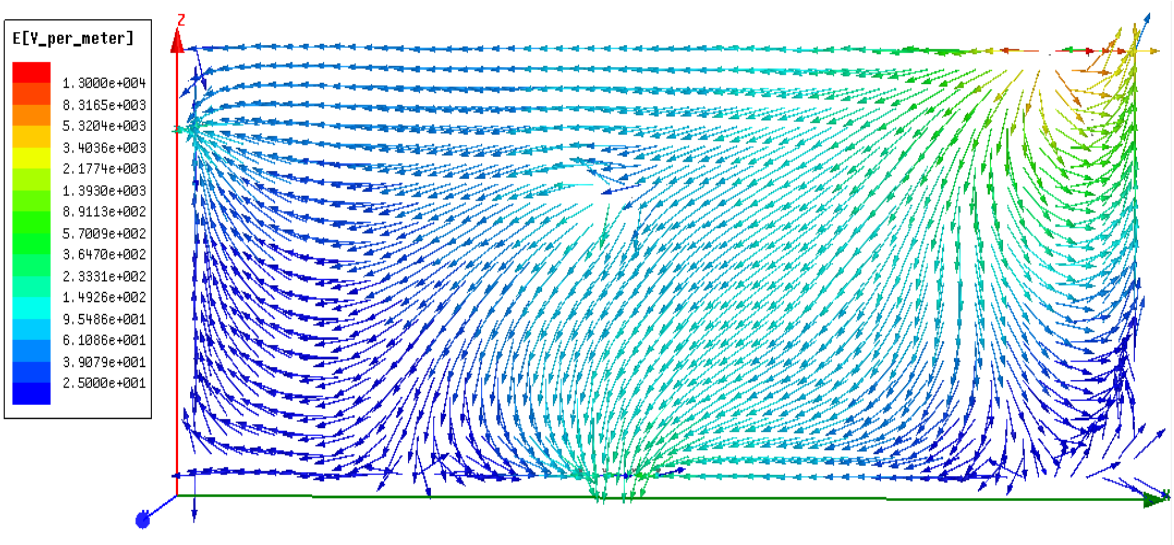


Figura 15: Acoplamiento de campos eléctricos alusivos al escenario hipotético B

2.5.2 Acoplamiento de campos magnéticos

Se identificó los campos vectoriales producidos por los magnéticos, determinando los valores de corriente, de cada una de los SEM.

2.5.2.1 Determinación de corrientes en sistema electromagnético 2 B

Para obtener el valor de corriente en la fuente electromagnética 2 B, se tomó datos de la tabla 14; porque, esta fuente electromagnética se ubica en la misma red eléctrica de baja tensión. Tomando en cuenta que el tramo de interés se ubica entre los postes P#352535 y P#458956; observando únicamente un cliente (M#4647095).

Con base a los registros de CENTROSUR, se evidenció que es un cliente estratificado tipo “C”; siendo la demanda máxima diversificada (DMD) igual a 3.13 KVA para un solo usuario; valor de potencia que será suministrado por los transformadores T# 19926 y T#19573, de esta manera se tiene:

$$S_i = 3.13KVA$$

Al tener un solo cliente conectado en la red de baja tensión $n_t = n_v = 1$, se considera:

$$S_j = \frac{E_i * n_v}{n_t} = \frac{3.13KVA * 1}{1} = 3.13KVA$$

Con respecto a la ecuación anterior, se determinó el valor de la energía, que adquiere la carga en sus distintas configuraciones, con lo cual, se utilizó la probabilidad de ocurrencia de los eventos siguientes:

Tabla 0-20: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético en el sistema electromagnético 2B

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Consumo línea 1 y neutro	95%	120
2	Consumo línea 2 y neutro	0%	120
3	Consumo línea 1, 2 y neutro	5%	240

Calculando los datos, con las ecuaciones correspondientes, se tiene:

$$S_1 = S_j * P(1) = 3.13KVA * 0.95 = 2.9735KVA$$

$$S_2 = S_j * P(2) = 3.13KVA * 0 = 0\text{VA}$$

$$S_3 = S_j * P(3) = 3.13KVA * 0.05 = 0.1565KVA$$

Luego, se calcularon los valores de corriente producidos en los distintos eventos de probabilidad.

$$I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{2.9735KVA}{120\text{V}} = 24.779A$$

$$I_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{0KA}{120\text{V}} = 0\text{A}$$

$$I_3 = \frac{S_3}{V_3} = \frac{0.1565KVA}{240\text{V}} = 0.652A$$

Para encontrar el valor de corriente que circula en los conductores de la fuente electromagnética 2, se empleó las siguientes expresiones matemáticas:

$$IL_1 = I_1 + I_3 = 24.779A + 0.652A = 25.4313A$$

$$IL_2 = I_2 + I_3 = 0A + 0.652A = 0.652A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 25.4313A - 0.652A = 24.779A$$

2.5.2.2 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3B

Se procede con los mismos criterios descritos en otras fuentes electromagnéticas, identificando el número de clientes conectados en la red de baja tensión y los datos de los transformadores que suministran energía.

Tabla 0-21: Propiedades de suministro y consumo de energía en la red de baja tensión asociada a la fuente electromagnética 3 B

Nº	Ubicación	Transformadores	Nº Medidores	
1	P#394200	-	1656586; 1455062	2
2	P#303733	-	2059806; 319350; 319368; 319343; 3680584	5
3	P#289417	-	1486224; 319376; 3909991; 3533825; 319384; 3911476	6
4	P#60350	-	319392; 3845740; 4875126	3
5	P#394201	19928 - 37.5KVA	1388743; 2106912; 4674230; 4674248	4
6	P#394202	-	1945716	1
7	P#394203	-	1988815; 319590	2
8	P#394204	-	319426; 319434; 3798543; 3798469; 3798535; 3798550; 4248613; 4248621; 4248647; 4230447; 4474706; 4474714; 4567293; 4567301; 4874830; 4874848	16
9	P#60354	-	1569888; 319475; 319467; 1874247; 4501318; 319459	6

El vano estudiado, se ubica entre los postes P#394200 y P#303733; para los cálculos, se asumió que el transformador, se encuentra funcionando a su máxima potencia y que la energía se distribuye de manera uniforme a los abonados.

$$S_i = 37.5KVA$$

Siendo S_i, el valor de potencia máxima que el transformador T#19928, que podría entregar a la red de baja tensión sin sobrecargarse, así pues, se estableció el valor de energía consumida en todas las posibles configuraciones de red, utilizando la probabilidad de ocurrencia de los siguientes eventos:

Tabla 0-22: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético en el sistema electromagnético 3 B

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Conexión línea 1 y neutro	50%	120
2	Conexión línea 2 y neutro	45%	120
3	Conexión línea 1, 2 y neutro	5%	240

Empleando las ecuaciones se obtuvo:

$$S_{\mathrm{i}1} = S_i * P(1) = 37.5KVA * 0.50 = 18.75KVA$$

$$S_{\mathrm{i}2} = S_i * P(2) = 37.5KVA * 0.45 = 16.875\mathrm{KVA}$$

$$S_{\mathrm{i}3} = S_i * P(3) = 37.5KVA * 0.05 = 1.875\mathrm{K}VA$$

Posteriormente, se determinaron las potencias que son consumidas a través del vano analizado. Para ello, se aplicó:

$$S_{j1} = \frac{S_{\mathrm{i}1} * n_v}{n_t} = \frac{18.75KVA * 2}{45} = 0.8333KVA$$

$$S_{j2} = \frac{S_{\mathrm{i}2} * n_v}{n_t} = \frac{16.875\mathrm{KVA} * 2}{45} = 0.75\mathrm{KVA}$$

$$S_{j3} = \frac{S_{\mathrm{i}3} * n_v}{n_t} = \frac{1.875\mathrm{K}VA * 2}{45} = 83.33VA$$

Donde:

$n_t = 45$ →Es el número total de clientes conectados en la red de baja tensión.

$n_v = 2$ →Es el número de clientes que adquieren energía del vano en análisis (P#394200)

Obtenemos los valores de corriente que se producen en los distintos eventos de probabilidad.

$$I_1 = \frac{S_{j1}}{V_1} = \frac{0.8333KVA}{120\text{V}} = 6.9444A$$

$$I_2 = \frac{S_{j2}}{V_2} = \frac{0.75\text{KVA}}{120\text{V}} = 6.25\text{A}$$

$$I_3 = \frac{S_{j3}}{V_3} = \frac{83.33VA}{240\text{V}} = 0.3472A$$

Para encontrar el valor de corriente que circula en los conductores de la fuente electromagnética 3, se calculó con base a las siguientes ecuaciones:

$$IL_1 = I_1 + I_3 = 6.9444A + 0.3472A = 7.2916A$$

$$IL_2 = I_2 + I_3 = 6.25\text{A} + 0.3472A = 6.597A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 7.2916A - 6.597A = 0.6944A$$

2.5.2.3 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 4 B

El valor de corriente en este sistema (alumbrado público) se obtuvo a través del número y la potencia de las luminarias desde el transformador hasta el final del circuito; tomando el valor de corriente en el punto de interés.

La ubicación de la fuente 4B está en el poste P#458956, en el geo portal se ubicó la cantidad y la potencia de las luminarias que adquieren energía en este tramo; las luminarias están ubicadas desde el transformador T#19926 hasta el poste P#458956.

$$I = \frac{\sum P}{V} = \frac{4(250W)}{120V} = 8.33A$$

2.5.2.4 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Procedimiento similar en los anteriores criterios hipotéticos, los valores de corriente (de línea) de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestran en la tabla 23.

Los valores en media tensión de corriente, caídas de tensión, factores de potencia y demás datos -proporcionados por la empresa eléctrica CENTROSUR- se muestran en el Anexo 15. Haciendo uso del factor de potencia y la magnitud de corriente que se tiene en media tensión, se estableció el valor de las corrientes trifásicas en el sistema electromagnético 1 B.

En este escenario hipotético, se tienen dos sistemas ferroviarios que comparten una única vía férrea de evacuación, por esta razón, se asume que el tranvía viaja en el carril derecho (sistema ferroviario I).

Tabla 0-20-3: Magnitudes de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Elemento E/R	Sistema	Configuración	Conductor	Corriente (A)
1B	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	5.1761
				Línea 2	-2.7887
				Línea 3	-2.3874
				Neutro	0
2B	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	25.4313
				Línea 2	-0.652
				Neutro	-24.779
3B	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	7.2916
				Línea 2	-6.597
				Neutro	-0.6944
4B	Alumbrado Publico	Bifásico	2F2C	Línea 1	8.33
				Línea 2	-8.33
5B	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	0.042735
				Negativo	-0.042735
6B1	Sistema ferroviario I	Monofásico	1F3C	Catenaria	702.13
				2 Rieles	2(-351.065)
6B2	Sistema ferroviario II	Monofásico	1F3C	Catenaria	0
				2 Rieles	0

Encontrados los valores de corriente (de línea), en cada uno de los conductores; se tiene el campo vectorial que se produce por el acoplamiento de los campos magnéticos emanados desde los distintos sistemas EM.

En la figura 16, se aprecia el efecto de acoplamiento magnético producido en este escenario hipotético.

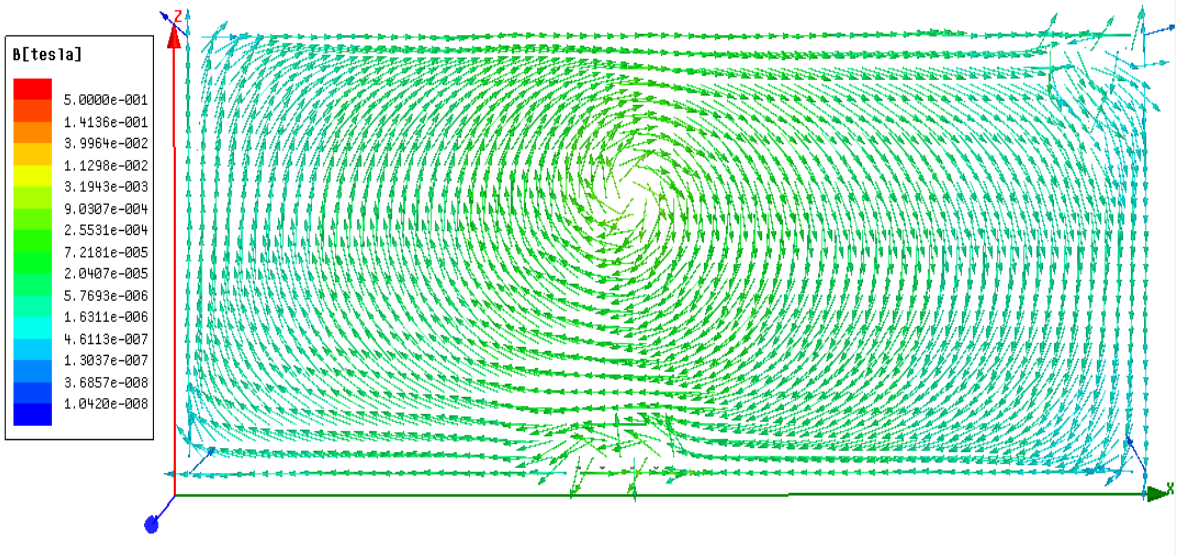


Figura 16: Acoplamiento de campos magnéticos alusivos al escenario hipotético B

2.6 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO C

2.6.1 Acoplamiento de campos eléctricos

Se identificaron los campos vectoriales producidos por los campos eléctricos, con base a las magnitudes de voltaje, en cada uno de los conductores eléctricos. Los voltajes de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético C, se muestran a continuación:

Tabla 0-24: Magnitudes de voltaje de los sistemas electromagnéticos

Nomenclatura	Ubicación	Elemento E/R	Voltaje [V]
Sistema electromagnético 1C	Calzada derecha	Media Tensión	22000
Sistema electromagnético 3C	P#303733	Baja Tensión	240
Sistema electromagnético 5C	P#303733	Telefonía Fija	50
Sistema electromagnético 6C	Parterre	Catenaria Tranvía	750

2.6.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Descomponiendo el valor de voltaje en cada conductor, del corredor vial del escenario hipotético C, se describen en la tabla 25 los niveles de tensión de los conductores y el sistema al que pertenecen; valores de voltaje medidos respecto del neutro (voltajes de línea), para un tiempo t=0.

Tabla 0-25: Magnitudes de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Elemento E/R	Sistema	Configuración	Conductor	Voltaje [V]
1	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	12700
				Línea 2	-6350
				Línea 3	-6350
				Neutro	0
3	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	120
				Línea 2	-120
				Neutro	0
5	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	50
				Negativo	0
6A	Sistema ferroviario I	Monofásico	1F3C	Catenaria	751.3
				Rieles	0
6B	Sistema ferroviario II	Monofásico	1F3C	Catenaria	751.3
				Rieles	0

Establecidos los valores del voltaje (de línea), en cada uno de los conductores; se conoce el campo vectorial que producen las distintas fuentes de campo eléctrico; en la figura 17, se aprecia el efecto de acoplamiento de los campos eléctricos, producidos en este escenario hipotético.

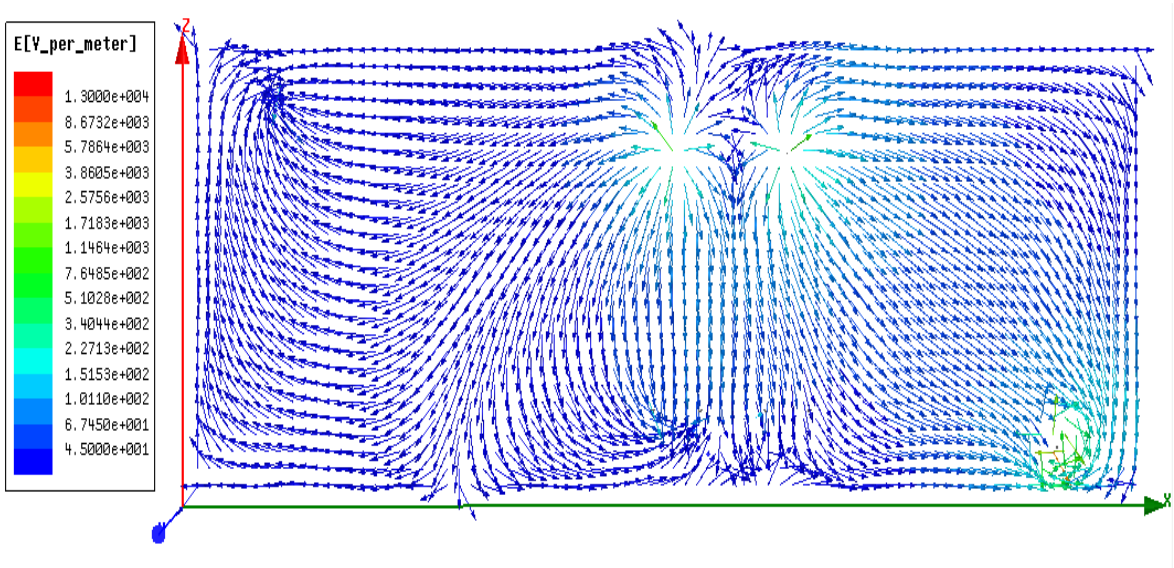


Figura 17: Acoplamiento de campos eléctricos alusivos al escenario hipotético C

2.6.2 Acoplamiento de campos magnéticos

Se obtuvo los campos vectoriales producidos por los campos magnéticos, para ello, es necesario conocer los valores de corriente, de cada uno de los conductores de los distintos SEM.

2.6.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 C

Para obtener el valor de corriente en la fuente electromagnética 3 C, se consideró datos de la tabla 20; ya que, esta fuente electromagnética se ubica en la misma red de baja tensión; los puntos de interés se ubican entre los postes P#303733 y P#289417.

Para realizar el cálculo, se asume que el transformador, se encuentra funcionando a su máxima potencia y que la energía se distribuye de manera uniforme a los abonados.

$$S_i = 37.5KVA$$

Siendo S_i, el valor de potencia máxima que el transformador T#19928, que podría entregar a la red de baja tensión sin sobrecargarse, determinando el valor de energía consumida en todas las posibles configuraciones de red, tomando como referencia la probabilidad de ocurrencia descrita en la tabla 26.

Tabla 0-26: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético en el sistema electromagnético 3 C

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Conexión línea 1 y neutro	50%	120
2	Conexión línea 2 y neutro	45%	120
3	Conexión línea 1, 2 y neutro	5%	240

Realizando el cálculo respectivo, se tiene:

$$S_{\mathrm{i}1} = S_i * P(1) = 37.5KVA * 0.50 = 18.75KVA$$

$$S_{\mathrm{i}2} = S_i * P(2) = 37.5KVA * 0.45 = 16.875\mathrm{KVA}$$

$$S_{\mathrm{i}3} = S_i * P(3) = 37.5KVA * 0.05 = 1.875\mathrm{K}VA$$

Asimismo, se obtuvo las potencias que son consumidas a través del vano, para ello, se utiliza las expresiones siguientes:

$$S_{j1} = \frac{S_{\mathrm{i}1} * n_v}{n_t} = \frac{18.75KVA * 7}{45} = 2.9167KVA$$

$$S_{j2} = \frac{S_{\mathrm{i}2} * n_v}{n_t} = \frac{16.875\mathrm{KVA} * 7}{45} = 2.625\mathrm{KVA}$$

$$S_{j3} = \frac{S_{\mathrm{i}3} * n_v}{n_t} = \frac{1.875\mathrm{K}VA * 7}{45} = 291.667VA$$

Donde:

$n_t = 45$ →Es el número total de clientes conectados en la red de baja tensión.

$n_v = 7$ →Es el número de clientes que adquieren energía del vano en análisis (P#303733 y P#394200).

Así, se estableció los valores de corriente que se producen en los distintos eventos de probabilidad.

$$I_1 = \frac{S_{j1}}{V_1} = \frac{2.9167KVA}{120\mathrm{V}} = 24.306A$$

$$I_2 = \frac{S_{j2}}{V_2} = \frac{2.625\text{KVA}}{120\text{V}} = 21.875\text{A}$$

$$I_3 = \frac{S_{j3}}{V_3} = \frac{291.667VA}{240\text{V}} = 1.2153A$$

Para encontrar el valor de corriente que circula en los conductores de la fuente electromagnética 3, se calculó considerando las ecuaciones:

$$IL_1 = I_1 + I_3 = 24.306A + 1.2153A = 25.5213A$$

$$IL_2 = I_2 + I_3 = 21.875\text{A} + 1.2153A = 23.09A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 25.5213A - 23.09A = 2.431A$$

2.6.2.2 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Se distribuyó el valor de corriente en cada conductor, de los diferentes sistemas eléctricos del escenario hipotético C. Los valores de corriente (de línea) de los conductores y el sistema se muestran en la tabla 25.

Los valores en media tensión de corriente, caídas de tensión, factor de potencia y demás datos -proporcionados por la Empresa Eléctrica CENTROSUR- se muestran en el Anexo 16, referenciando el factor de potencia y la magnitud de corriente que se tiene en media tensión, se determinó el valor de las corrientes trifásicas.

En este escenario hipotético, se tienen dos sistemas ferroviarios que comparten una única vía férrea de evacuación, razón por la cual, el análisis magnético se asumió con el tranvía viajando en el carril derecho (sistema ferroviario I).

Tabla 0-27: Magnitudes de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Elemento E/R	Sistema	Configuración	Conductor	Corriente (A)
				Línea 1	2.6137
1C	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 2	-1.3709
				Línea 3	-1.2428
				Neutro	0
				Línea 1	25.5213
3C	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 2	-23.09
				Neutro	-2.431
5C	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	0.042735
				Negativo	-0.042735
6C1	Sistema ferroviario I	Monofásico	1F3C	Catenaria	702.13
				2 Rieles	2(-351.065)
6C2	Sistema ferroviario II	Monofásico	1F3C	Catenaria	0
				2 Rieles	0

Evidenciados los valores de corriente (de línea), en cada uno de los conductores; se tiene el campo vectorial que se produce por el acoplamiento de los campos magnéticos emanados desde las distintas fuentes. En la figura 18, se aprecia este efecto en el escenario hipotético.

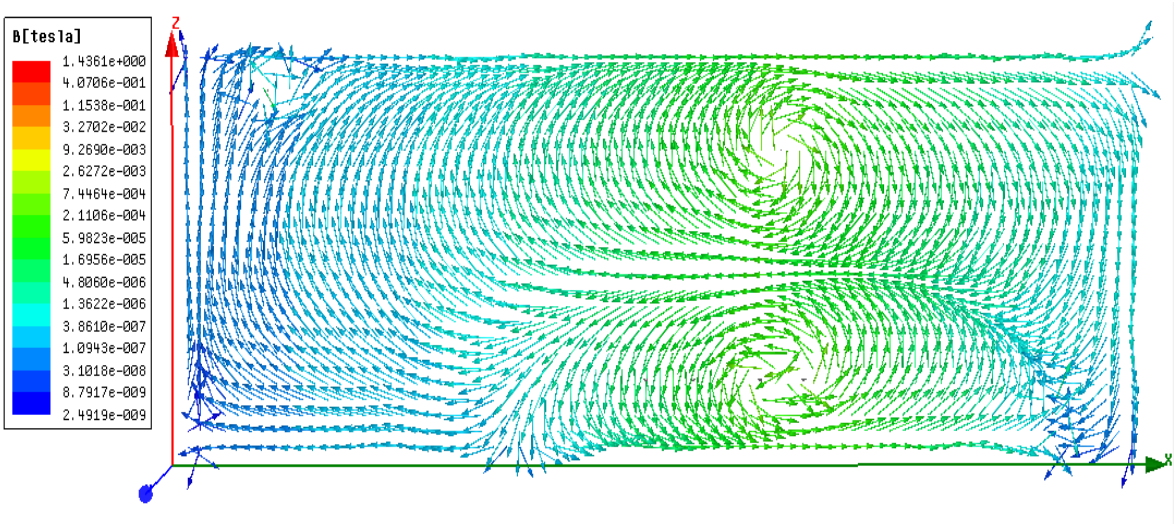


Figura 18: Acoplamiento de campos magnéticos alusivos al escenario hipotético C

2.7 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO D

2.7.1 Acoplamiento de campos eléctricos

Los procesos consideraron criterios similares a los anteriores, tomando datos de referencia como: los valores de voltaje en cada uno de los conductores de los distintos sistemas eléctricos. En la tabla 28, se muestran los voltajes de los SEM presentes en el escenario hipotético D,

Tabla 0-28: Magnitudes de voltaje en los sistemas electromagnéticos

Nomenclatura	Ubicación	Elemento E/R	Voltaje
Sistema electromagnético 1D	Calzada derecha	Media Tensión	22000
Sistema electromagnético 3D	P#60350	Baja Tensión	240
Sistema electromagnético 5D	P#60350	Telefonía Fija	50

2.7.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Se consideró el voltaje en cada conductor, de los sistemas que presenta el corredor vial del escenario hipotético D; los niveles de tensión de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestra en la tabla 29, siendo que, los valores de voltaje están medidos respecto del neutro (voltajes de línea).

Tabla 0-29: Magnitudes de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Red eléctrica	Sistema	Configuración	Conductor	Voltaje (V)
1D	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	12700
				Línea 2	-6350
				Línea 3	-6350
				Neutro	0
3D	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 1	120
				Línea 2	-120
				Neutro	0
5D	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	50
				Negativo	0

Con los datos del voltaje (de línea) en cada uno de los conductores, se obtuvo el campo vectorial que producen las distintas fuentes de campo eléctrico. En la figura 19, se aprecia el efecto de acoplamiento de los campos eléctricos en este escenario hipotético.

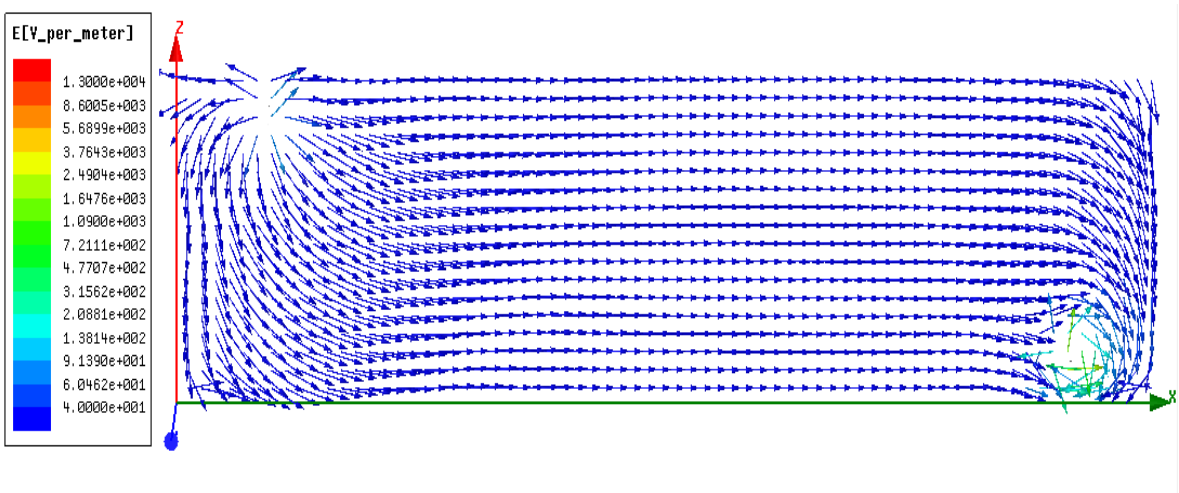


Figura 19: Acoplamiento de campos eléctricos alusivos al escenario hipotético D

2.7.2 Acoplamiento de campos magnéticos

Se obtuvo los campos vectoriales producidos por los campos magnéticos, conociendo los valores de corriente, de cada uno de los sistemas EM.

2.7.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 D

Para obtener el valor de corriente en la fuente electromagnética 3 D, se tomó como fuente primaria los datos de la tabla 20; en realidad, esta fuente electromagnética se ubica en la misma red de baja tensión, siendo el vano que ubica los postes P#60350 y P#289417.

Para realizar el cálculo, se estima que el transformador, se encuentra funcionando a su máxima potencia y que la energía se distribuye de manera uniforme a los abonados.

$$S_i = 37.5KVA$$

Siendo S_i, el valor de potencia máxima que el transformador T#19928, podría entregar a la red de baja tensión sin sobrecargarse; se encontró el valor de energía consumida en todas las posibles

configuraciones de red, utilizando la probabilidad de ocurrencia de los eventos descritos a continuación:

Tabla 0-30: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético en el sistema electromagnético 3 D

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Conexión línea 1 y neutro	50%	120
2	Conexión línea 2 y neutro	45%	120
3	Conexión línea 1, 2 y neutro	5%	240

Aplicando las ecuaciones se determinó que:

$$S_{\mathrm{i}1} = S_i * P(1) = 37.5KVA * 0.50 = 18.75KVA$$

$$S_{\mathrm{i}2} = S_i * P(2) = 37.5KVA * 0.45 = 16.875\mathrm{KVA}$$

$$S_{\mathrm{i}3} = S_i * P(3) = 37.5KVA * 0.05 = 1.875\mathrm{K}VA$$

Pues bien, se calcularon las potencias que son consumidas a través del vano aplicando las siguientes fórmulas:

$$S_{j1} = \frac{S_{\mathrm{i}1} * n_v}{n_t} = \frac{18.75KVA * 13}{45} = 5.4167KVA$$

$$S_{j2} = \frac{S_{\mathrm{i}2} * n_v}{n_t} = \frac{16.875\mathrm{KVA} * 13}{45} = 4.875\mathrm{KVA}$$

$$S_{j3} = \frac{S_{\mathrm{i}3} * n_v}{n_t} = \frac{1.875\mathrm{K}VA * 13}{45} = 541.667VA$$

Donde:

$n_t = 45$ →Es el número total de clientes conectados en la red de baja tensión.

$n_v = 13$ →Es el número de clientes que adquieren energía del vano en análisis (P#289417, P#303733 y P#394200).

Los valores de corriente que se producen en los distintos eventos de probabilidad son:

$$I_1 = \frac{S_{j1}}{V_1} = \frac{5.4167KVA}{120\text{V}} = 45.139A$$

$$I_2 = \frac{S_{j2}}{V_2} = \frac{4.875\text{KVA}}{120\text{V}} = 40.625\text{A}$$

$$I_3 = \frac{S_{j3}}{V_3} = \frac{541.667VA}{240\text{V}} = 2.257A$$

Para encontrar el valor de corriente que circula en los conductores de la fuente electromagnética 3, se calculó tomando como base lo siguiente:

$$IL_1 = I_1 + I_3 = 45.139A + 2.257A = 47.396A$$

$$IL_2 = I_2 + I_3 = 40.625\text{A} + 2.257A = 42.882A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 47.396A - 42.882A = 4.514A$$

2.7.2.2 Determinación de corrientes en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Se concretó el valor de corriente en cada conductor, de los distintos sistemas de tensiones del escenario hipotético D. Los valores de corriente (línea) de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestran en la tabla 30.

Los valores en media tensión de: corriente, caídas de tensión, factores de potencia y demás datos - se muestran en el Anexo 17, haciendo uso del factor de potencia y la magnitud de corriente que se tiene en media tensión se calculó el valor de las corrientes trifásicas en el sistema EM D1.

Tabla 0-30-1: Magnitudes de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Elemento E/R	Sistema	Configuración	Conductor	Corriente (A)
1D	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 1	2.6137
				Línea 2	-1.3709
				Línea 3	-1.2428
				Neutro	0

				Línea 1	47.396
3D	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 2	-42.882
				Neutro	-4.514
5D	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	0.042735
				Negativo	-0.042735

Encontrados los valores de corriente (de línea) en cada uno de los conductores se establece el campo vectorial que se produce por el acoplamiento de los campos magnéticos emanados desde las distintas fuentes. En la figura 20, se aprecia el efecto de acoplamiento magnético producido en este escenario hipotético.

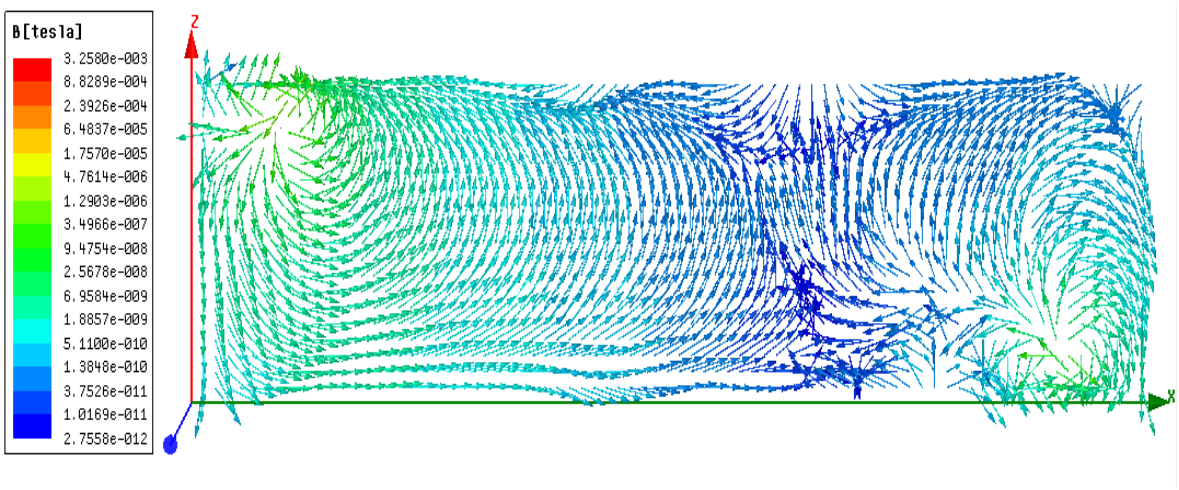


Figura 20: Acoplamiento de campos magnéticos alusivos al escenario hipotético D

2.8 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO E

2.8.1 Acoplamiento de campos eléctricos

Se precisó el acoplamiento vectorial producido por los campos eléctricos, analizados con respecto a los valores de voltaje, en cada uno de los conductores de los sistemas eléctricos. En la tabla 32, se muestran los voltajes de los sistemas electromagnéticos presentes en el escenario hipotético E,

Tabla 0-32: Magnitudes de voltaje en los sistemas electromagnéticos

Nomenclatura	Ubicación	Elemento E/R	Voltaje [V]
Sistema electromagnético 1E	P#394203	Media Tensión	22000
Sistema electromagnético 2E	P#394203	Baja Tensión	240
Sistema electromagnético 3E	P#354648	Baja Tensión	240
Sistema electromagnético 4E	P#354648	Alumbrado Publico	120
Sistema electromagnético 5E	P#394203	Telefonía Fija	50

2.8.1.1 Obtención de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Distribuidos los valores de voltaje en cada conductor del escenario hipotético E, se muestran en la tabla 33 los niveles de tensión de los conductores y el sistema al que pertenecen; valores de voltaje medidos respecto del neutro (voltajes de línea).

Tabla 0-33: Magnitudes de voltaje en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Elemento E/R	Sistema	Configuración	Conductor	Voltaje (V)
				Línea 1	12700
1E	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 2	-6350
				Línea 3	-6350
				Neutro	0
				Línea 1	120
2E	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 2	-120
				Neutro	0
				Línea 1	120
3E	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 2	-120
				Neutro	0
4E	Alumbrado	Monofásico	2F2C	Línea 1	120
	Publico			Línea 2	0
5E	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	50
				Negativo	0

Distinguidos los valores del voltaje (de línea) en cada uno de los conductores se encuentra el campo vectorial que producen las distintas fuentes de campo electromagnético.

En la figura 21, se observa el efecto de acoplamiento electromagnético producido en este escenario hipotético.

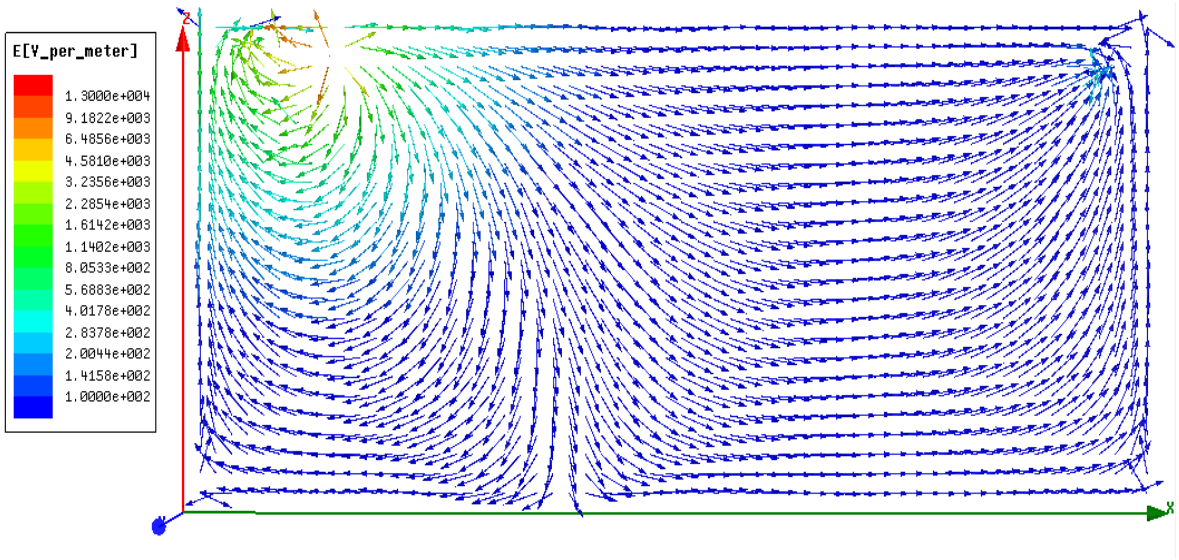


Figura 21: Acoplamiento de campos eléctricos alusivos al escenario hipotético E

2.8.2 Acoplamiento de campos magnéticos

Se obtuvo los campos vectoriales producidos por los campos magnéticos, identificando los valores de corriente, en cada uno de los sistemas electromagnéticos.

2.8.2.1 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 2 E

Para obtener los valores de corriente en la fuente electromagnética 2 E, se utilizó los datos de la tabla 20; en efecto, la fuente electromagnética se ubica en la misma red de baja tensión, ubicada entre los postes P#394203 y P#394204.

Para realizar el cálculo, se tomó en cuenta, que el transformador, se encuentra funcionando a su potencia nominal y que la energía se distribuye de manera uniforme a los abonados.

$$S_i = 37.5KVA$$

Siendo S_i, el valor de potencia máxima que el transformador T#19928, podría entregar a la red de baja tensión sin sobrecargarse, se calculó el valor de energía consumida en todas las posibles configuraciones de red, observando la probabilidad de ocurrencia de los eventos siguientes:

Tabla 0-34: Probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético en el sistema electromagnético 2 E

Nº	Evento	Probabilidad	Voltaje [V]
1	Conexión línea 1 y neutro	50%	120
2	Conexión línea 2 y neutro	45%	120
3	Conexión línea 1, 2 y neutro	5%	240

Empleando las ecuaciones obtenemos:

$$S_{\mathrm{i1}} = S_i * P(1) = 37.5KVA * 0.50 = 18.75KVA$$

$$S_{\mathrm{i2}} = S_i * P(2) = 37.5KVA * 0.45 = 16.875\mathrm{KVA}$$

$$S_{\mathrm{i3}} = S_i * P(3) = 37.5KVA * 0.05 = 1.875\mathrm{K}VA$$

Ahora obtendremos las potencias que son consumidas a través del vano en análisis. Para ello utilizamos las expresiones siguientes:

$$S_{j1} = \frac{S_{\mathrm{i1}} * n_v}{n_t} = \frac{18.75KVA * 23}{45} = 9.5833KVA$$

$$S_{j2} = \frac{S_{\mathrm{i2}} * n_v}{n_t} = \frac{16.875\mathrm{KVA} * 23}{45} = 8.625\mathrm{KVA}$$

$$S_{j3} = \frac{S_{\mathrm{i3}} * n_v}{n_t} = \frac{1.875\mathrm{K}VA * 23}{45} = 958.33VA$$

Donde:

$n_t = 45$ →Es el número total de clientes conectados en la red de baja tensión.

$n_v = 23$ →Es el número de clientes que adquieren energía del vano en análisis (P#394204 y P#60354).

Los valores de corriente que se producen en los distintos eventos de probabilidad son:

$$I_1 = \frac{S_{j1}}{V_1} = \frac{9.5833KVA}{120\text{V}} = 79.8611A$$

$$I_2 = \frac{S_{j2}}{V_2} = \frac{8.625\text{KVA}}{120\text{V}} = 71.875\text{A}$$

$$I_3 = \frac{S_{j3}}{V_3} = \frac{958.33VA}{240\text{V}} = 3.993A$$

Para encontrar el valor de corriente que circula en los conductores de la fuente electromagnética 3, se cómputo con las ecuaciones siguientes:

$$IL_1 = I_1 + I_3 = 79.8611A + 3.993A = 83.8542A$$

$$IL_2 = I_2 + I_3 = 71.875\text{A} + 3.993A = 75.868A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 83.8542A - 75.868A = 7.986A$$

2.8.2.2 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 3 E

Para comprobar el valor de corriente en la fuente electromagnética 3; se requirió conocer el número y ubicación de los clientes conectados en la red de baja tensión, además, de los datos de los transformadores que suministran energía, dichos valores se muestran a continuación.

Tabla 0-35: Propiedades de suministro y consumo de energía en la red de baja tensión asociado al sistema electromagnético 3 E

	Ubicación (Poste)	Transformador	Nº Medidor
1	P#458957	27747 - 75KVA	4858320
2	P#344635	19571 - 37.5KVA	-
3	P#354648	-	-
4	P#354650	-	-

Al respecto, interesa conocer el valor de la corriente del vano que se ubica entre los postes P#344635 y P#354648; empleando las cargas (clientes) conectadas en el tramo. Como se observa

en la tabla 34, no existen clientes conectados en los puntos de interés, es por ello que, la corriente en la fuente electromagnética 3 será igual a cero; consecuentemente, las corrientes en cada uno de los conductores serán:

$$IL_1 = 0A$$

$$IL_2 = 0A$$

$$IL_n = IL_1 - IL_2 = 0A$$

2.8.2.3 Determinación de corrientes en el sistema electromagnético 4 E

La magnitud de corriente del sistema electromagnético 4 E (alumbrado público) se determinó a través del número y la potencia de las luminarias desde el transformador hasta el final del circuito; tomando el valor de corriente en el punto de interés.

La ubicación de la fuente electromagnética, está en el vano P#344635 y P#354648, en el geo portal se observó la cantidad y potencia de las luminarias que adquieren energía a través del tramo. Las luminarias a tener en cuenta se ubican entre el transformador #19571 hasta el poste P#323439.

$$I = \frac{\sum P}{V} = \frac{2(250W) + 6(500W)}{120V} = 29.167A$$

2.8.2.4 Obtención de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Se identificó el valor de corriente en cada conductor, del escenario hipotético E, los valores de corriente (línea) de los conductores y el sistema al que pertenecen se muestra en la tabla 36.

Los valores en media tensión de corriente, caídas de tensión, factores de potencia y demás se muestran en el Anexo 18; considerando el factor de potencia y la magnitud de corriente que se tiene en media tensión se calculó el valor de las corrientes trifásicas del sistema EM 1 E.

Tabla 0-36: Magnitudes de corriente en los conductores de los sistemas electromagnéticos

Nº	Elemento E/R	Sistema	Configuración	Conductor	Corriente [A]
				Línea 1	0.02
1	Media Tensión	Trifásico	3F4C	Línea 2	-0.0115
				Línea 3	-0.0085
				Neutro	0
				Línea 1	83.8542
2	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 2	-75.868
				Neutro	-7.986
				Línea 1	0
3	Baja Tensión	Bifásico	2F3C	Línea 2	0
				Neutro	0
4	Alumbrado Publico	Bifásico	2F2C	Línea 1	29.167
				Línea 2	-29.167
5	Telefonía Fija	Monofásico	1F2C	Positivo	0.042735
				Negativo	-0.042735

Una vez encontrados los valores de corriente (de línea) en cada uno de los conductores, se obtuvo el campo vectorial que se produce por el acoplamiento de los campos magnéticos emanados desde las distintas fuentes. En la figura 22, se aprecia el efecto de acoplamiento magnético producido en este escenario hipotético.

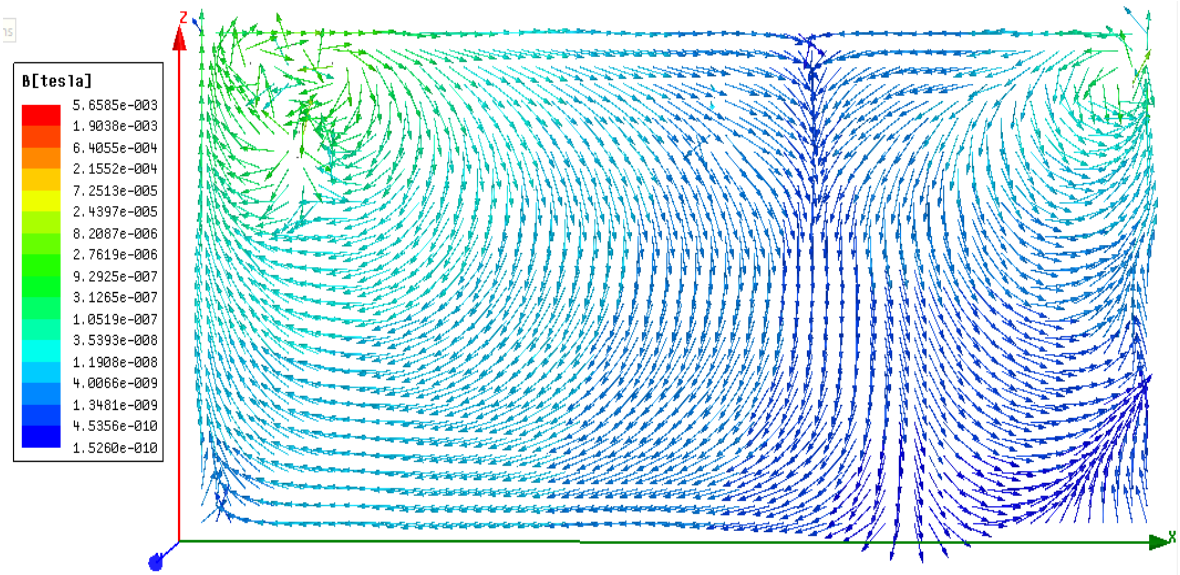


Figura 22: Acoplamiento de campos magnéticos alusivos al escenario hipotético E

CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN ENTRE SISTEMAS EMISORES/RECEPTORES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

En este capítulo se realizó el análisis acerca de la cantidad de energía que los sistemas electromagnéticos emiten y/o receptan. Además, de conocer cómo se comporta el acoplamiento energético que producen los campos eléctricos (Sadiku, Densidad de energía en campos electroestáticos , 2003) y magnéticos (Sadiku, Energia magnética , 2003).

Naturalmente, en los distintos escenarios hipotéticos, se tiene sistemas electromagnéticos predominantes; porque, transportan grandes cantidades de energía, asociadas a tensiones y/o corrientes con magnitudes considerables. A la vez, se tienen sistemas electromagnéticos que poseen niveles de tensión y corriente muy reducidas por las bajas cantidades de energía que transportan; motivando ajustar la escala de visualización de resultados a -valores específicos- (ANSYS, 2013), de modo que, permitan observar los niveles de energía sin que interfieran los predominantes y desaparezcan los minoritarios.

El acoplamiento de los niveles de energía, se obtuvo a través del software Ansys maxwell, el cual permitió obtener curvas de nivel de las intensidades de energía (Stewart, Curvas de nivel, 2012). A las intensidades de energía, se las obtuvo por separado; se tienen niveles de energía que se producen por campos eléctricos y otras producidas por campos magnéticos. De esta manera, la cantidad de energía en cualquier punto de los diferentes escenarios hipotéticos (A-E), será igual a:

$$E_T = E_{CE} + E_{CM}$$

Donde:

E_{CE} →Energía suministrada por el acoplamiento de campos eléctricos.

E_{CM} → Energía suministrada por el acoplamiento de campos magnéticos.

3.1 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO A

3.1.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos

Las curvas de niveles de energía, presentes en el escenario hipotético, se obtuvieron haciendo uso de las magnitudes de voltaje, descritas en la tabla 13. En la figura 23, se muestra la cantidad de energía [J/m^3]; que es producida por efectos de acoplamiento de los campos eléctricos.

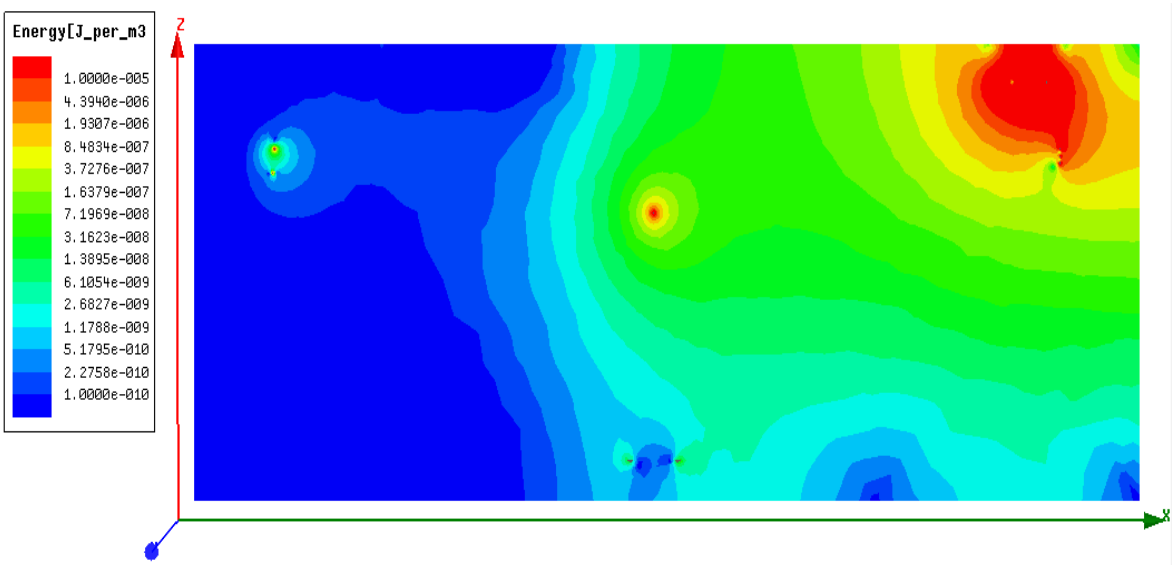


Figura 23: Acoplamiento energético derivado de los campos eléctricos presentes en el escenario hipotético A

Se observa que la red de media tensión posee/emana mayor cantidad de energía, porque, las redes eléctricas no se encuentran aisladas. De igual forma, la catenaria del tranvía posee/emana niveles considerables de energía; ya que, no está aislada. Las redes de baja tensión ubicadas en la calzada derecha, están aisladas, razón por la cual, presentan cierto grado de aislamiento respecto de niveles de energía más elevados. Mientras que, las redes eléctricas de baja tensión ubicada en la calzada izquierda; muestran cierta independencia, tomando en cuenta la separación con relación a otras fuentes electromagnéticas. Finalmente, se evidenció que, en los rieles del tranvía existen valores de energía inducida.

3.1.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos

En la figura 24, se aprecian los niveles de energía que se producen por el acoplamiento de campos magnéticos. Además, se observa como predominan las magnitudes de energía emanadas desde el sistema de alimentación del tranvía; lo cual se debe a la considerable cantidad de energía que transporta.

Siendo las magnitudes de corriente muy inferiores en las demás redes eléctricas; por ello, emanan leves cantidades de energía. Dichos valores de corriente, se indican en la tabla 17.

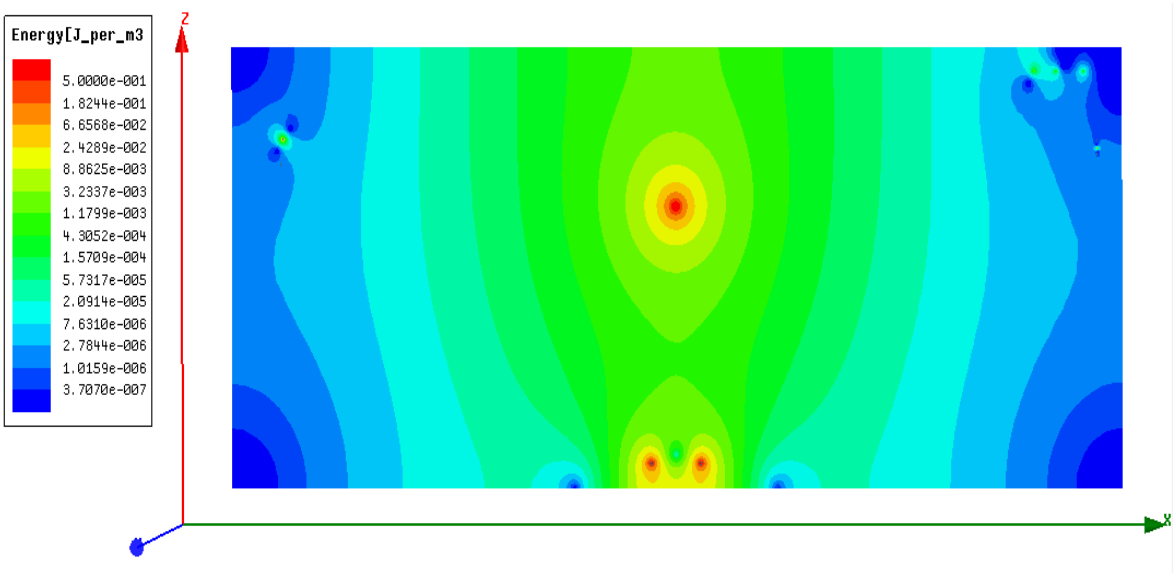


Figura 24: Acoplamiento energético producido por los campos magnéticos presentes en el escenario hipotético A

3.2 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO B

3.2.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos

Las curvas de niveles de energía, presentes en el escenario hipotético se obtuvieron haciendo uso de las magnitudes de voltaje, mostradas en la tabla 19. En la figura 25, se observa la cantidad de energía $[J/m^3]$; que se produce por efectos de acoplamiento de los campos eléctricos.

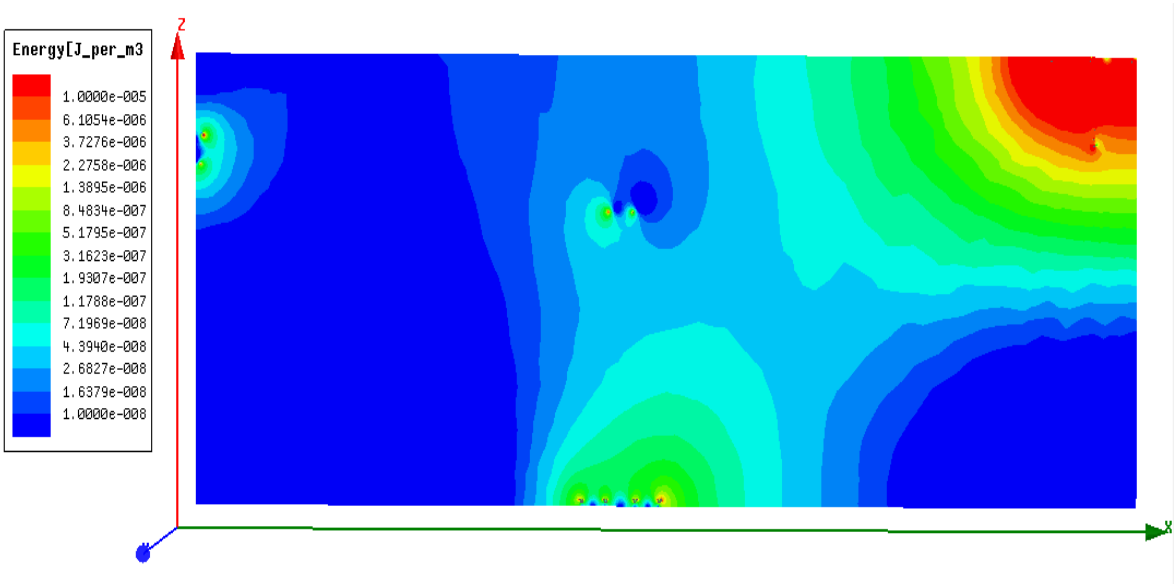


Figura 25: Acoplamiento energético derivado de los campos eléctricos presentes en el escenario hipotético B

La red de media tensión posee/emana mayor cantidad de energía, pues, las redes eléctricas no se encuentran aisladas. De igual manera, se observa que los niveles de energía en las catenarias del tranvía se encuentran reducidos, considerando que ambas atenúan los niveles de campo eléctrico debido a su ubicación (40 cm). Las redes de baja tensión ubicadas en la calzada derecha, presentan cierto grado de aislamiento respecto a los niveles de energía más elevados (media tensión), porque, están aisladas. Las redes eléctricas de baja tensión ubicadas en la calzada izquierda; evidencian un elevado grado de independencia, la ubicación, la caracteriza tomando en cuenta otras fuentes electromagnéticas. Finalmente, se observa que, en los rieles del tranvía existen notables valores de energía inducida.

3.2.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos

Los niveles de energía producidos por el acoplamiento de campos magnéticos, se muestran en la figura 26; evidenciando la prevalencia de los niveles de energía emanados desde las rieles y catenaria del tranvía, siendo menor en las demás redes eléctricas; asociado a las bajas magnitudes

de corriente que transportan las redes de alumbrado público, baja y media tensión. Los valores de corriente utilizados en la obtención de los niveles de energía; se tomaron de la tabla 23.

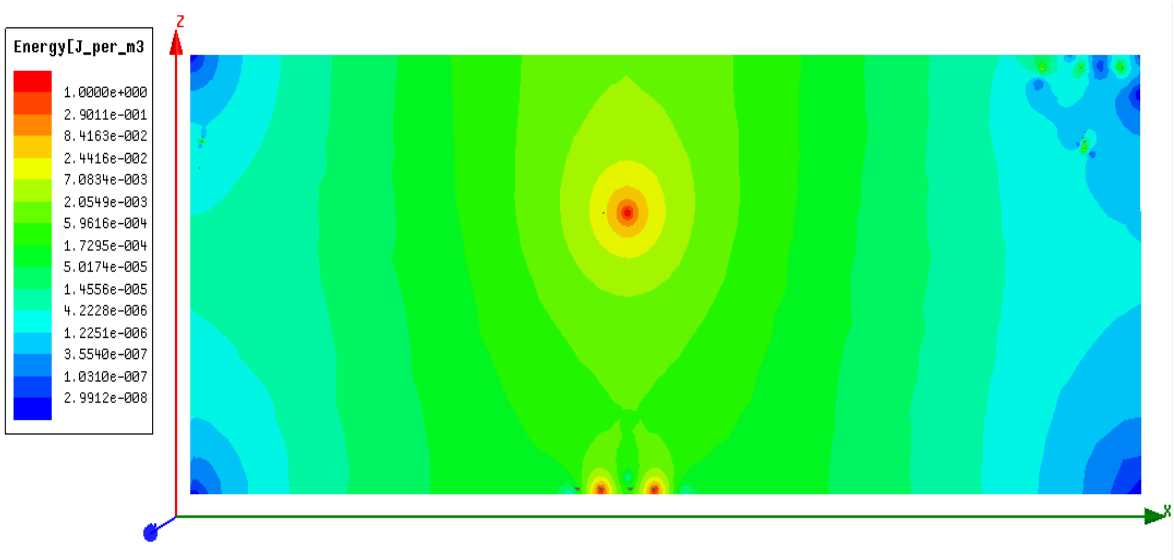


Figura 26: Acoplamiento energético producido por los campos magnéticos presentes en el escenario hipotético B

3.3 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO C

3.3.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos

Las curvas de niveles de energía, presentes en el escenario hipotético se determinaron con las magnitudes de voltaje, mostradas en la tabla 25. En la figura 27, se aprecia la cantidad de energía [J/m^3]; producida por efectos de acoplamiento de los campos eléctricos.

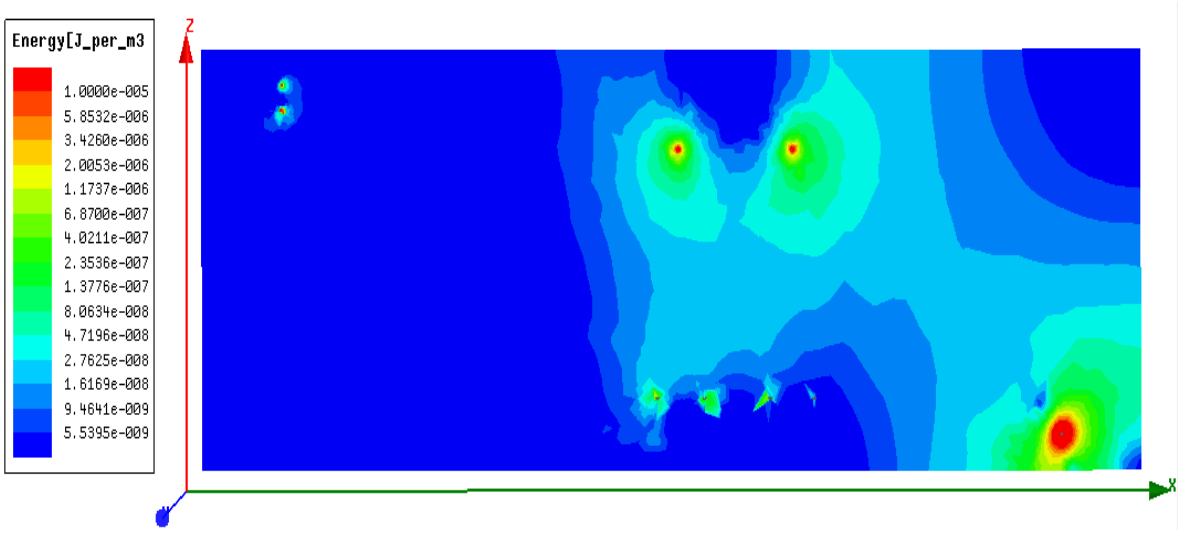


Figura 27: Acoplamiento energético derivado de los campos eléctricos presentes en el escenario hipotético C

La red de media tensión posee la mayor cantidad de energía, pero, no la emana; de hecho, las redes eléctricas se encuentran aisladas (subterráneas). Es más, se aprecia que, las catenarias del tranvía poseen/emanan cantidades considerables de energía; ambas catenarias tienen una considerable separación una respecto de la otra (3758 mm) impidiendo la atenuación de los CE.

Las redes eléctricas de baja tensión ubicadas en la calzada izquierda; presentan un elevado grado de independencia, ello, es por su ubicación con respecto a otras fuentes electromagnéticas. En los rieles del tranvía existen escasos valores de energía inducida.

3.3.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos

En la figura 28, se destacan los niveles de energía derivados, del acoplamiento de campos magnéticos producidos por las corrientes descritas en la tabla 27. Se aprecia como predominan las magnitudes de energía emanadas desde las rieles y cantarinas del tranvía, -pertenecientes al sistema ferroviario I-; ya que, se asume al tranvía viajando por el carril derecho. Las cantidades de

energía irradiadas desde las demás redes eléctricas son débiles con referencia a la energía disipada por el sistema de alimentación eléctrica del tranvía.

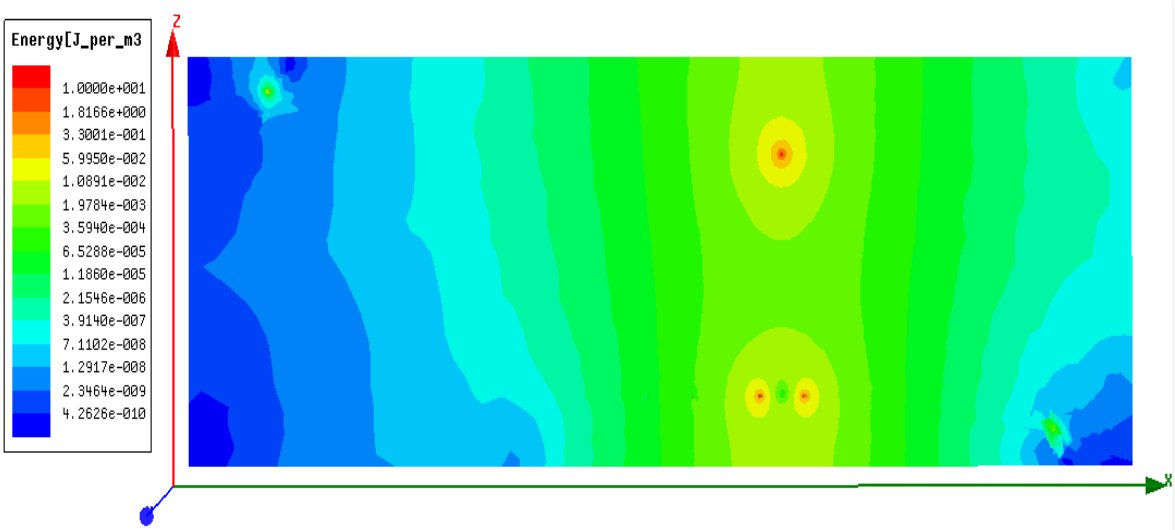


Figura 28: Acoplamiento energético producido por los campos magnéticos presentes en el escenario hipotético C

3.4 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO D

3.4.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos

Las curvas de niveles de energía, presentes en el escenario hipotético se obtuvieron haciendo uso de las magnitudes de voltaje, mostradas en la tabla 29. En la figura 29, se aprecia la cantidad de energía $[J/m^3]$; producida por efectos de acoplamiento de los campos eléctricos.

La red de media tensión posee la mayor cantidad de energía, pero, no la emana; pues, las redes eléctricas se encuentran aisladas (subterráneas). Se nota que las redes eléctricas de baja tensión en la calzada izquierda; presentan un elevado grado de independencia, por su ubicación, respecto de otras fuentes electromagnéticas.

Figura 29: Acoplamiento energético derivado de los campos eléctricos presentes en el escenario hipotético D

3.4.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos

Los niveles de energía, se muestran en la figura 30, observando la independencia de los niveles de energía emitidos por los dos campos magnéticos, todo por la distancia existente entre los SEM; siendo, la red de baja tensión eléctrica, localizada en la calzada izquierda (SEM3D) la de mayor intensidad. La red eléctrica de media tensión, muestra que la energía irradiada es reducida, pequeñas magnitudes de corriente circulan en la red; pese a que, trasporta grandes cantidades de energía eléctrica.

Figura 30: Acoplamiento energético producido por los campos magnéticos presentes en el escenario hipotético D

3.5 DETERMINACIÓN DEL ACOPLAMIENTO ENERGÉTICO EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO E

3.5.1 Acoplamiento energético producido por campos eléctricos

Las curvas de los niveles de energía, presentes en el escenario hipotético se obtuvieron con las magnitudes de voltaje, que se muestran en la tabla 32. En la figura 31, se aprecia la cantidad de energía [J/m^3]; producida por efectos de acoplamiento de los CE.

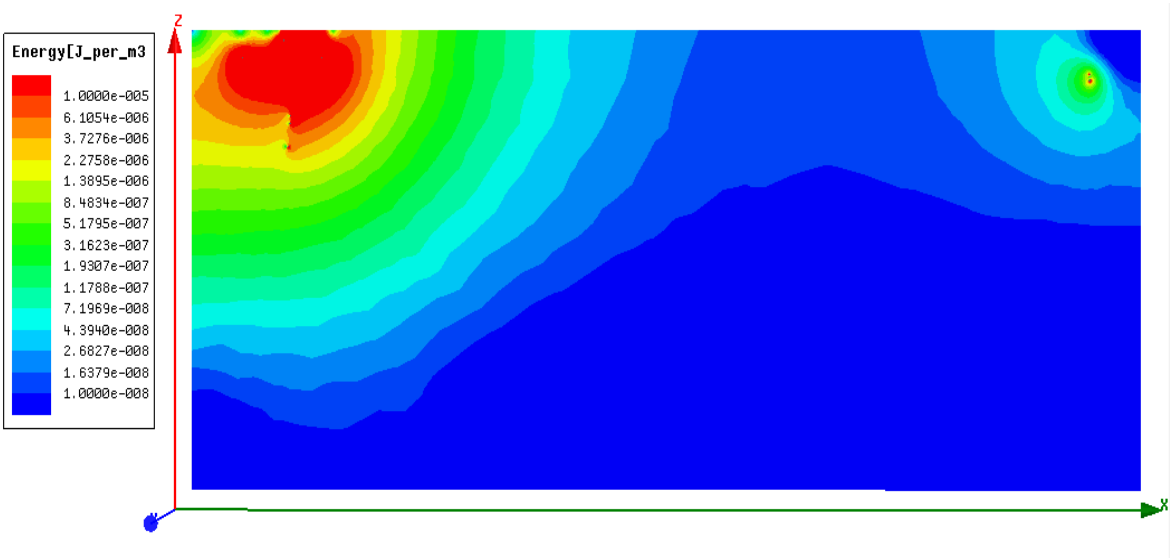


Figura 31: Acoplamiento energético derivado de los campos eléctricos presentes en el escenario hipotético E

En la figura, se muestra como la red de media tensión posee/emana mayor cantidad de energía, dichas redes eléctricas no se encuentran aisladas. Las redes de baja tensión ubicadas en la calzada izquierda, presentan cierto grado de aislamiento respecto a los niveles de energía más elevados (media tensión), puesto que, se encuentran aisladas. Por otro lado, las redes eléctricas de baja tensión ubicada en la calzada derecha presentan un elevado grado de independencia, la ubicación marca la diferencia con respecto a otras fuentes electromagnéticas.

3.5.2 Acoplamiento energético producido por campos magnéticos

Las curvas de nivel energético producto de los campos magnéticos, se muestran en la figura 32, donde se aprecia la independencia de los niveles de energía emitidos por el sistema electromagnético 4 E (alumbrado público), por la ubicación con referencia a las demás fuentes electromagnéticas. Los sistemas electromagnéticos 1 y 2 (media y baja tensión) la energía magnética irradiada tiende acoplarse, produciéndose una única fuente magnética.

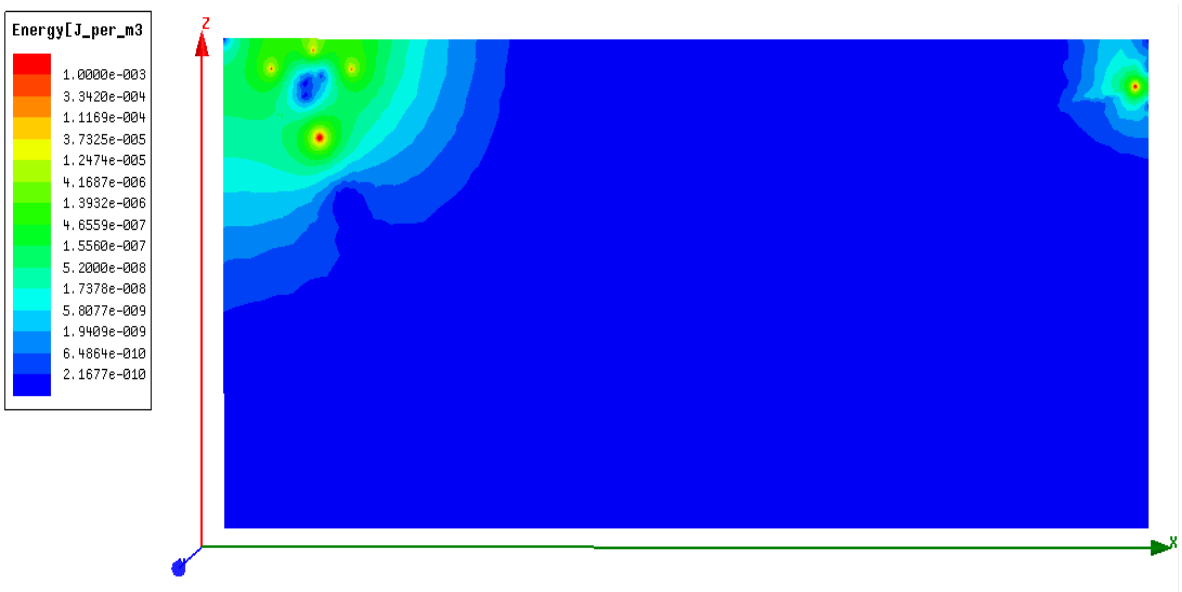


Figura 32: Acoplamiento energético derivado de los campos magnéticos presentes en el escenario hipotético E

CAPÍTULO IV: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y NORMATIVAS DE EXPOSICIÓN PÚBLICA PARA CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIA EXTREMADAMENTE BAJA ELF

En este capítulo se realizó un análisis comparativo de las magnitudes vectoriales de los CEM, obtenidas en el capítulo II con respecto a los estándares normalizados en Estados Unidos, Unión Europea, el Reino Unido, Alemania y Australia (REE, 2001); los niveles de campo electromagnético CEM estandarizados, presentan cierta variación entre sí, razón por la cual, se tomó determinada cantidad de muestras en el desarrollo.

El análisis se orientó únicamente en los niveles de campos electromagnéticos, que puedan afectar a la integridad de los seres humanos (UNESA, 2016). Por ese motivo, se consideró únicamente a los valores de campo electromagnético que se ubicaron en un rango de 0-2 m sobre el nivel del suelo (Pérez, 1998). Se estimó que los peatones emplean todo el corredor vial para desplazarse y no solo las calzadas; consecuentemente, las magnitudes de los campos electromagnéticos, que se encuentran fuera del área de análisis no se tomaron en cuenta por las intensidades de los campos vectoriales EM permitieron especular que la probabilidad de ocurrencia, de rupturas dieléctricas por campos eléctricos sean nulas; esto siempre que, las condiciones de operación sean las adecuadas (nominales).

4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO A

4.1.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos

Se realizó el análisis comparativo de los campos eléctricos en las áreas de interés, mostradas en la figura 33. Las magnitudes estandarizadas de campo eléctrico, así como, las producidas por el efecto del acoplamiento eléctrico en este tramo del corredor vial, se muestran en la tabla 36.

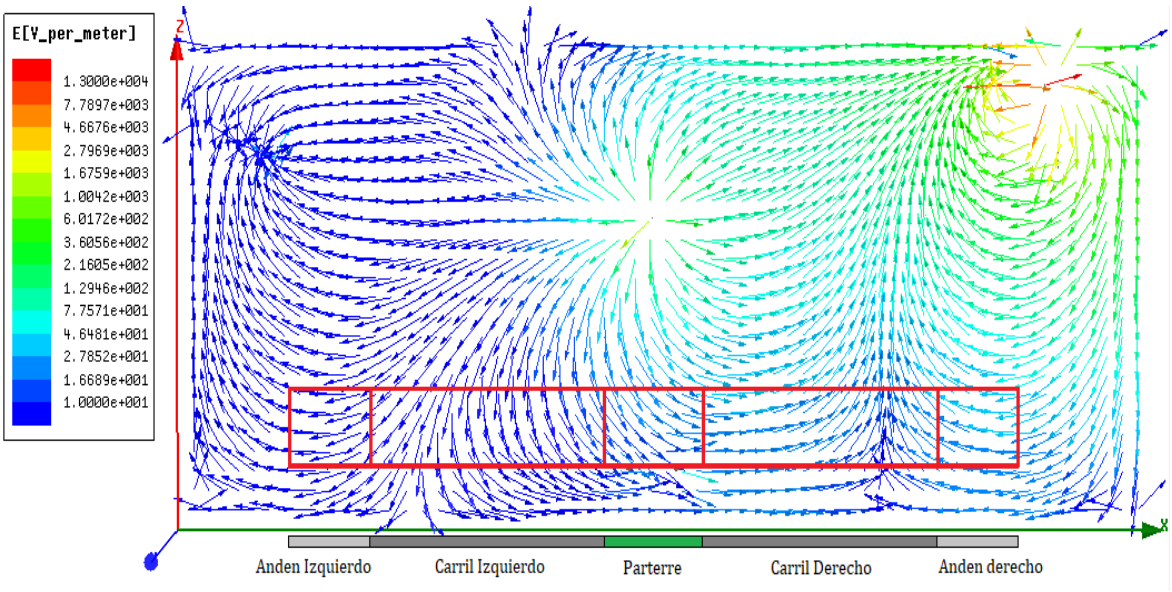


Figura 33: Áreas de interés en el análisis de campos eléctricos presentes en el escenario hipotético A

Tabla 0-36: Índices de afectación de los campos eléctricos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético A

Organismo/País	Normativas de exposición pública para CE [KV/m]							Resultados [V/m]
	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	
Anden izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	1.67
Carril izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	2.78
Parterre	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	4.64
Carril derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	7.75
Anden derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	12.9

4.1.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos

Tomando como referencia los datos descritos en la figura 34 se analizó las magnitudes estandarizadas de los CM, adicional, los producidos por el acoplamiento magnético, en esta sección del corredor vial que se muestran en la tabla 37.

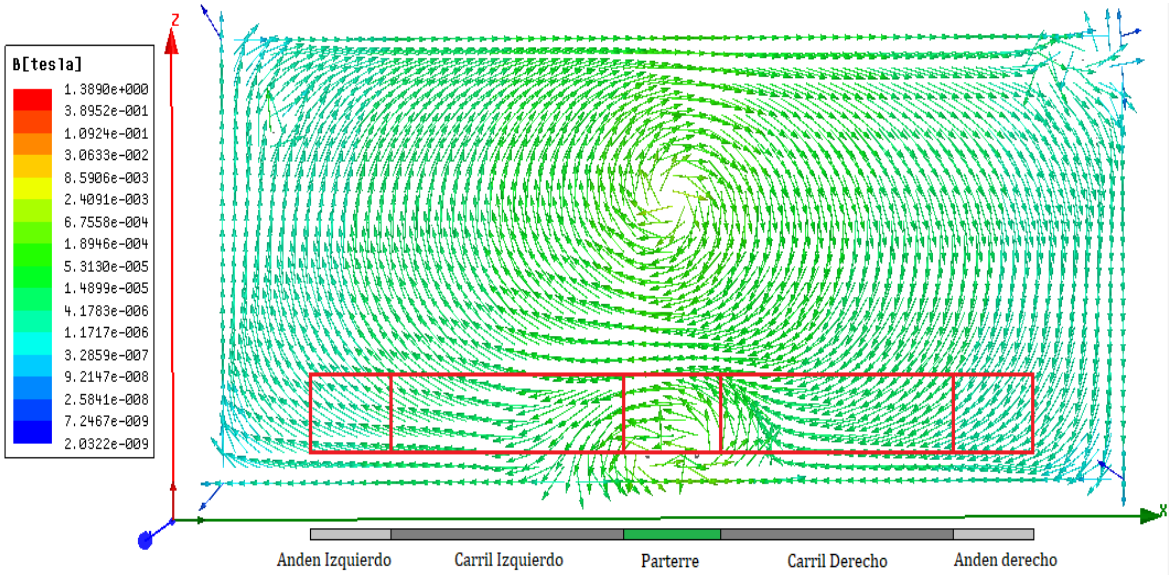


Figura 34: Áreas de interés en el análisis de campos magnéticos presentes en el escenario hipotético A

Tabla 0-37: Índices de afectación de los campos magnéticos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético A

Organismo/País	Normativas de exposición pública para CM $[\mu T]$							Resultados $[uT]$
	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	
Anden izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	1.17
Carril izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	4.18
Parterre	83	1600	100-200	100	20	100	334	14.7
Carril derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	4.17
Anden derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	1.17

4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO B

4.2.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos

Según los datos referenciados en la en la figura 33, se estudió las magnitudes normalizadas de los CE y los producidos por el acoplamiento eléctrico, en este tramo del corredor vial, se muestran en la tabla 38.

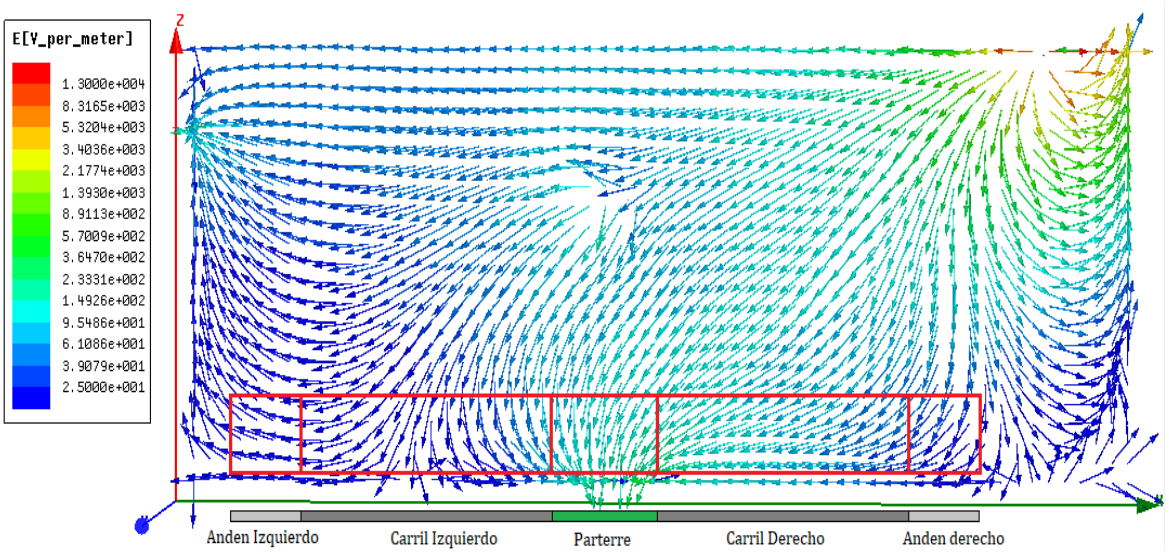


Figura 35: Áreas de interés en el análisis de campos eléctricos presentes en el escenario hipotético B

Tabla 0-38: Índices de afectación de los campos eléctricos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético B

	Normativas de exposición pública para CE [KV/m]							
Organismo/País	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	Resultados [V/m]
Anden izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	2.5
Carril izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	3.9
Parterre	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	149
Carril derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	9.54
Anden derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.1

4.2.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos

Con base a los datos registrados en las áreas de interés de la figura 36, se analizó las magnitudes estandarizadas de CM, con las producidas por el acoplamiento magnético en esta sección del corredor vial, que se muestran en la tabla 39.

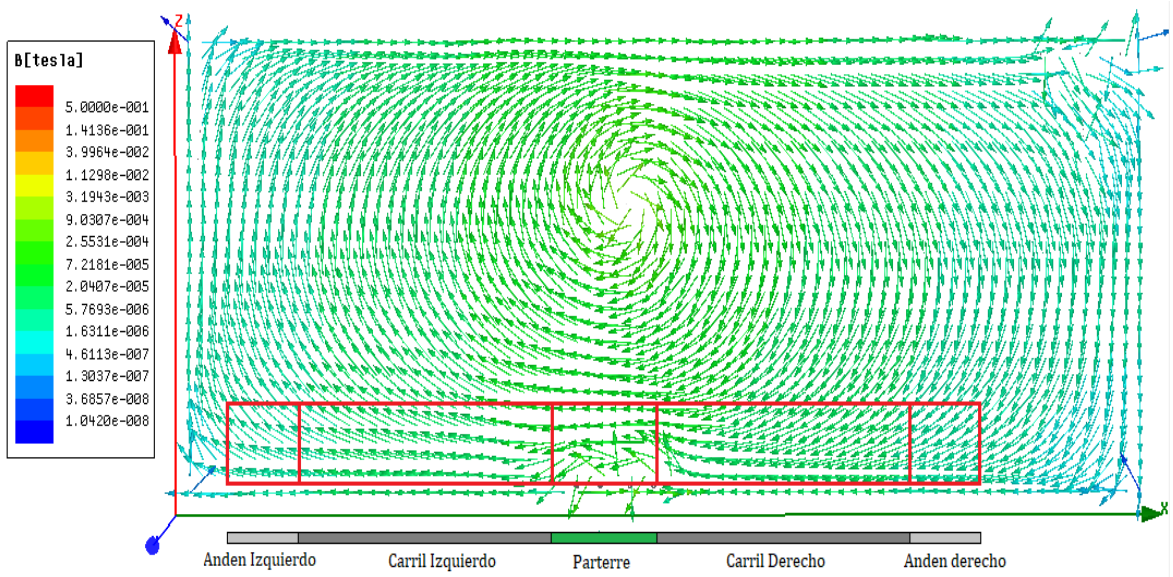


Figura 36: Áreas de interés en el análisis de campos magnéticos presentes en el escenario hipotético B

Tabla 0-39: Índices de afectación de los campos magnéticos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético B

Organismo/País	Normativas de exposición pública para CM [μT]							Resultados [uT]
	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	
Anden izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	1.63
Carril izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	5.76
Parterre	83	1600	100-200	100	20	100	334	20.4
Carril derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	5.77
Anden derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	1.6

4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO C

4.3.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos

Considerando los valores reflejados en la figura 37, se comparó las magnitudes normalizadas del campo eléctrico y las producidas por el acoplamiento eléctrico, en este tramo del corredor vial, se muestran en la tabla 40.

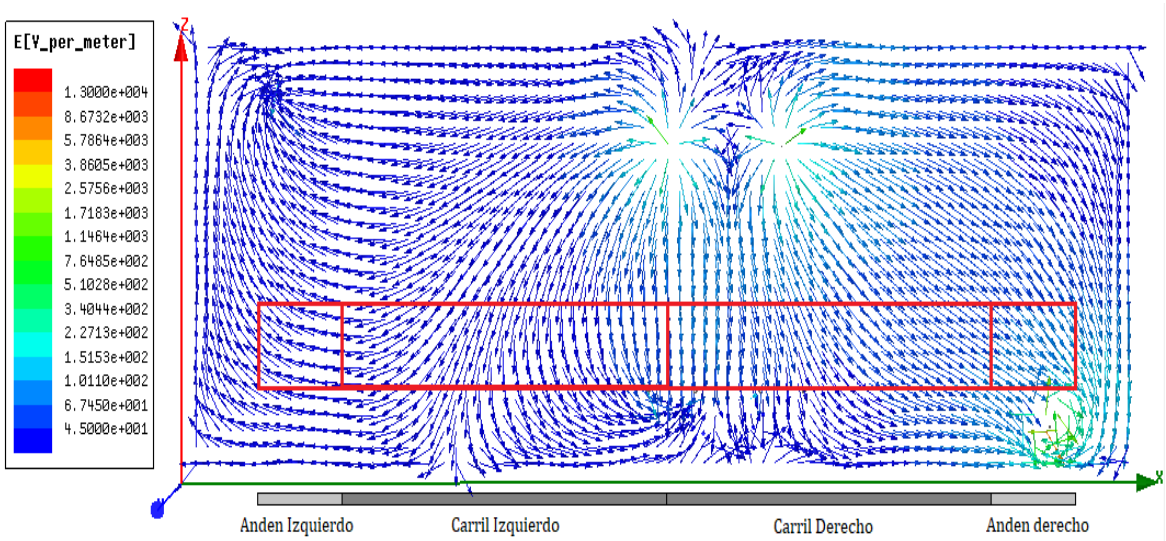


Figura 37: Áreas de interés en el análisis de campos eléctricos presentes en el escenario hipotético C

Tabla 0-40: Índices de afectación de los campos eléctricos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético C

	Normativas de exposición pública para CE [KV/m]							
Organismo/País	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	Resultados [V/m]
Anden izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.75
Carril izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	10.1
Carril derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	15.1
Anden derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	22.7

4.3.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos

Tomando como punto de partida los datos mostrados en la figura 38 se analizó las magnitudes de campo magnético estandarizadas y las producidas por el acoplamiento magnético, en esta sección del corredor vial; se muestran en la tabla 41.

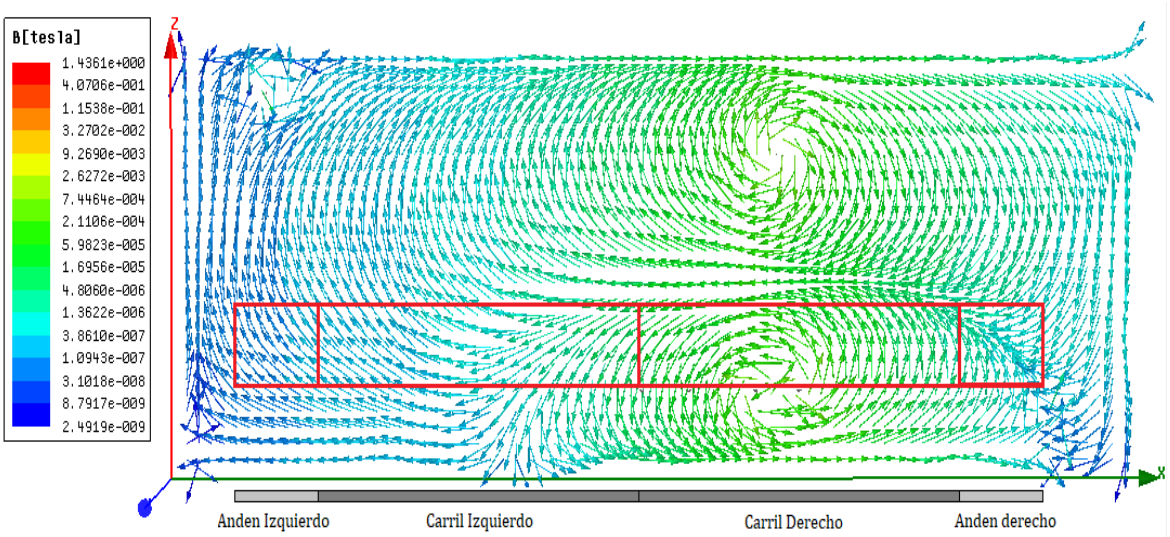


Figura 38: Áreas de interés en el análisis de campos magnéticos presentes en el escenario hipotético C

Tabla 0-40-1: Índices de afectación de los campos magnéticos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético C

Organismo/País	Normativas de exposición pública para CM [μT]							Resultados [uT]
	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	
Anden izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	0.1
Carril izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	1.36
Carril derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	16.95
Anden derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	4.8

4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO D

4.4.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos

Según los datos en las áreas de interés de la figura 39 se estudió las magnitudes normalizadas del CE y los ocasionados por el acoplamiento eléctrico, en este tramo del corredor vial; se muestran en la tabla 42.

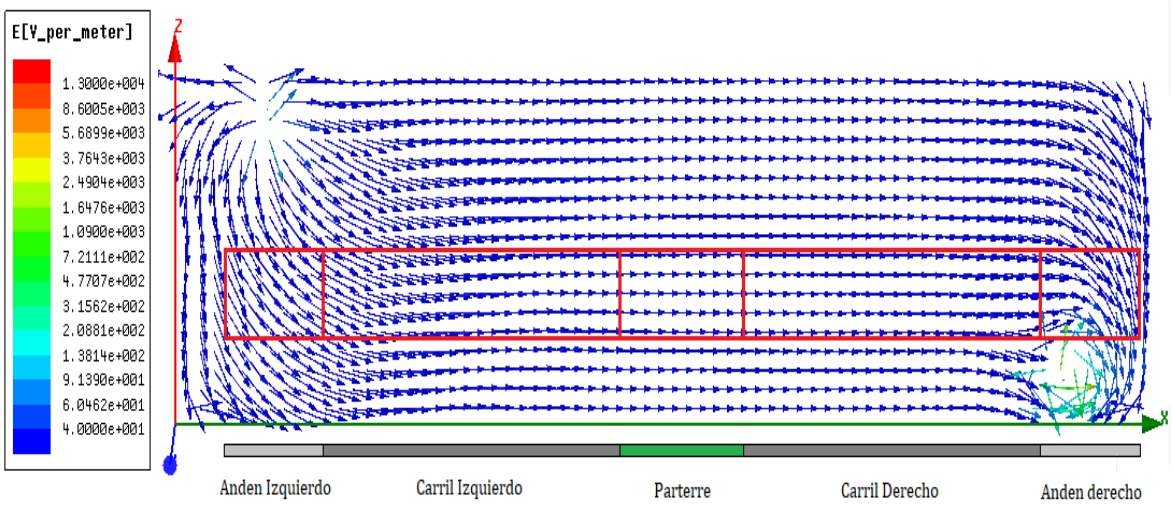


Figura 39: Áreas de interés en el análisis de campos eléctricos presentes en el escenario hipotético D

Tabla 0-42: Índices de afectación de los campos eléctricos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético D

	Normativas de exposición pública para CE [KV/m]							
Organismo/País	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	Resultados [V/m]
Anden izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.04
Carril izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.04
Parterre	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.04
Carril derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.04
Anden derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	6.04

4.4.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos

Se procedió con el análisis tomando en cuenta los valores de la figura 40 las magnitudes normalizadas de campo magnético y las ocasionadas por el acoplamiento magnético en este tramo del corredor vial; se muestran en la tabla 43.

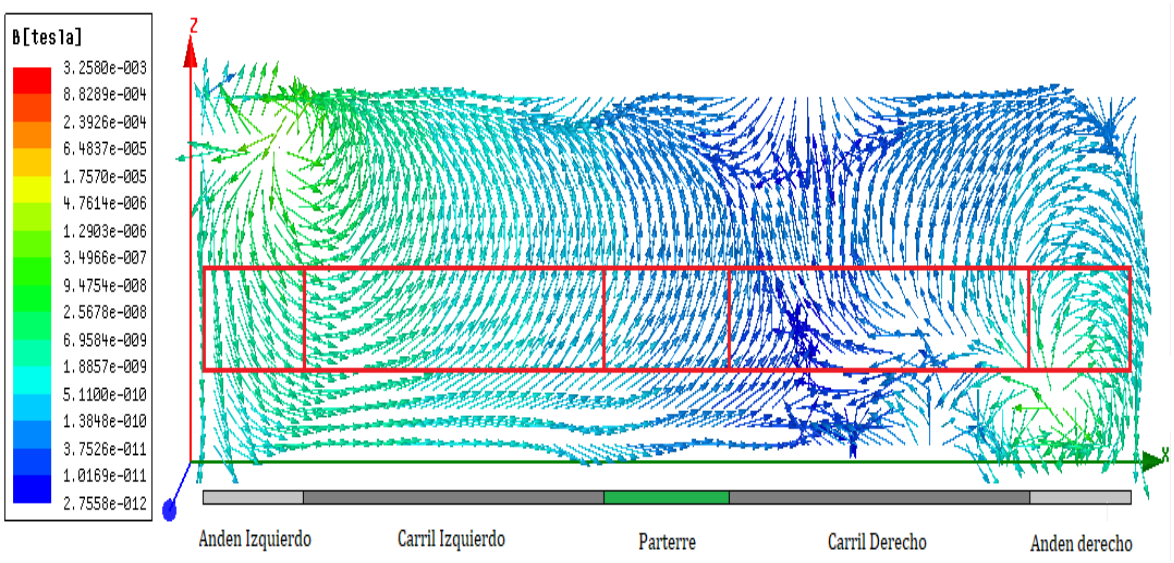


Figura 40: Áreas de interés en el análisis de campos magnéticos presentes en el escenario hipotético D

Tabla 0-43: Índices de afectación de los campos magnéticos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético D

	Normativas de exposición pública para CM $[\mu T]$							Resultados $]nT\}$
Organismo/País	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	
Anden Izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	25.7
Carril izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	6.95
Parterre	83	1600	100-200	100	20	100	334	0.14
Carril Derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	0.038
Anden Derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	6.95

4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRESENTES EN EL ESCENARIO HIPOTÉTICO E

4.5.1 Mediante normativas de exposición para campos eléctricos

Según datos de la figura 41 se analizó las magnitudes normalizadas del CE, y las ocasionadas por el acoplamiento eléctrico, en este tramo del corredor vial; se muestran en la tabla 44.

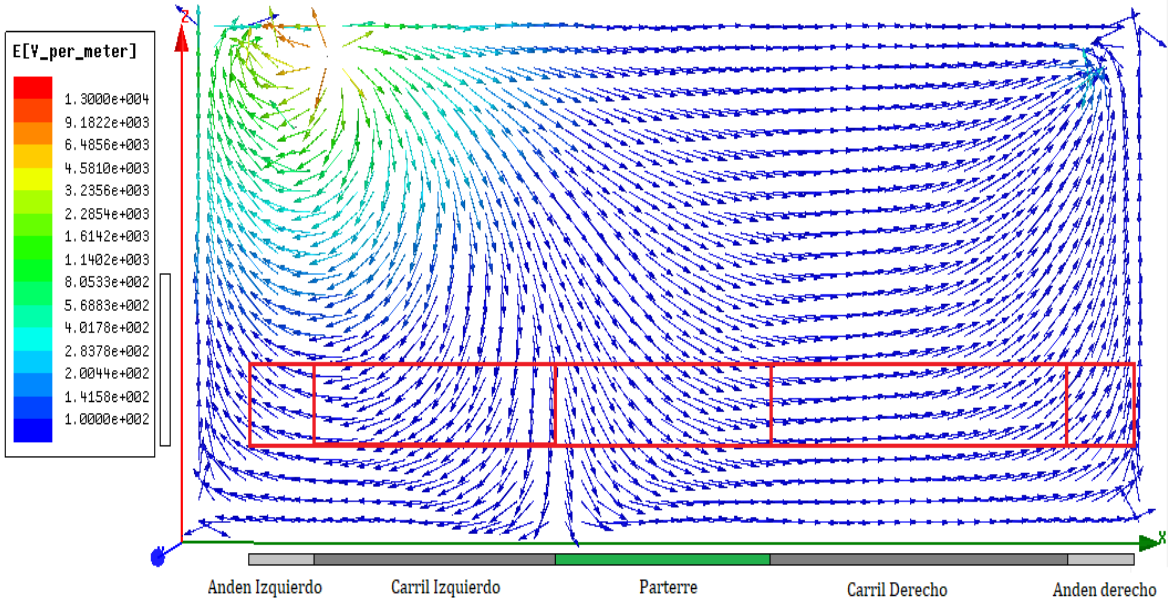


Figura 41: Áreas de interés en el análisis de campos eléctricos presentes en el escenario hipotético E

Tabla 0-44: Índices de afectación de los campos eléctricos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético E

	Normativas de exposición pública para CE [KV/m]							
Organismo/País	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	Resultados [V/m]
Anden izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	14.15
Carril izquierdo	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	10
Parterre	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	10
Carril derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	10
Anden derecho	4.2	12	5-10	5-10	8-10	5	6.53	10

4.5.2 Mediante normativas de exposición para campos magnéticos

Con relación a los valores contemplados en la figura 42 se comparó las magnitudes estandarizadas de los CM, los ocasionados por el acoplamiento magnético, en este tramo del corredor vial, se muestran en la tabla 45.

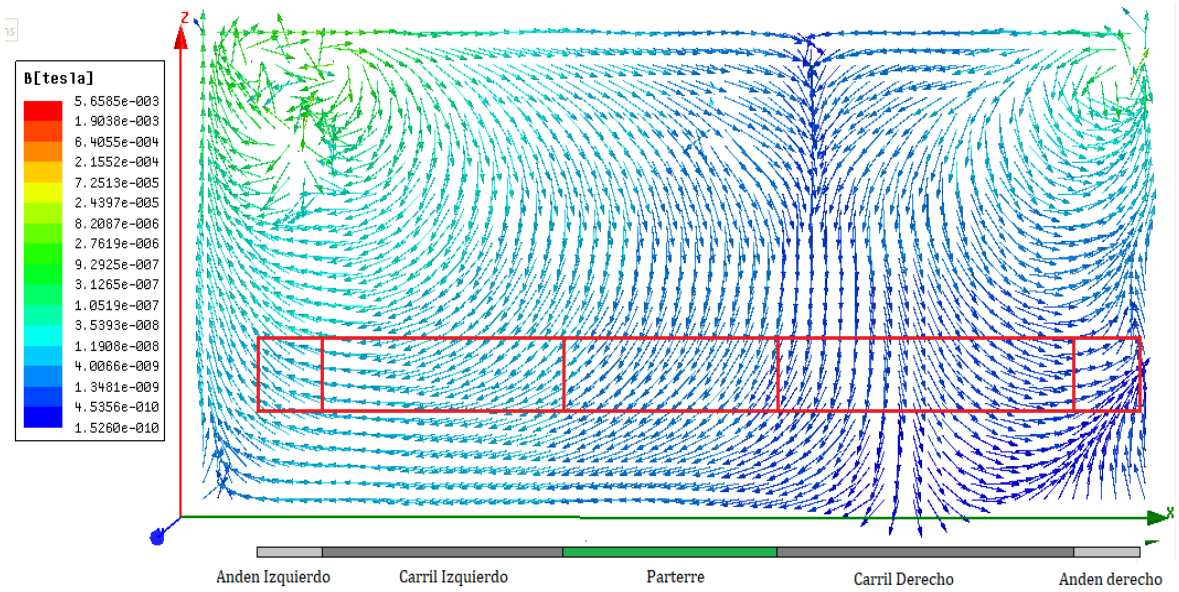


Figura 42: Áreas de interés en el análisis de campos magnéticos presentes en el escenario hipotético E

Tabla 0-45: Índices de afectación de los campos magnéticos presentes en el corredor vial correspondiente al escenario hipotético E

	Normativas de exposición pública para CM [μT]							
Organismo/País	ICNIRP	NRPB (UK)	Alemania	Australia	EEUU	Unión Europea	$\overline{X}$	Resultados [nT]
Anden izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	35.4
Carril izquierdo	83	1600	100-200	100	20	100	334	11.9
Parterre	83	1600	100-200	100	20	100	334	4.01
Carril derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	1.34
Anden derecho	83	1600	100-200	100	20	100	334	0.45

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

Con base a las normativas de exposición pública para campos electromagnéticos vigentes en países desarrollados y organizaciones internacionales, se realizó un análisis comparativo, por medio del cual, se reflexiona que los niveles de campo eléctrico y magnético presentes en el corredor vial de la avenida México, se encuentran bajo los límites de exposición de campos EM; que pueden afectar a la integridad de los transeúntes.

Analizando la intensidad de los campos eléctricos presentes en los distintos escenarios hipotéticos, se evidenció como el aislamiento de los conductores; debilitan considerablemente a los campos eléctricos que estos emiten. Observando como el aire se comporta como un medio aislante; atenuando el campo eléctrico de forma proporcional a la distancia.

Con el objetivo de tener un funcionamiento adecuado del software en el estado de compilación; se utilizó el análisis de superficies equipotenciales cilíndricas, el cual, consistió en aumentar el radio de los conductores, consiguiendo optimizar el tiempo de ejecución del software Ansoft Maxwell. Esta operación únicamente se realizó a las líneas telefónicas, que poseen un radio considerablemente reducido en sus conductores (1 mm), llegando a incrementar el radio cuatro veces su valor.

En los resultados obtenidos en el capítulo III, se aprecia como el aislamiento de los conductores en -redes eléctricas de alumbrado púbico, líneas telefónicas y conductores pre ensamblados-; protegen/aíslan a dichos conductores de niveles más elevados de energía. Niveles de energía que

son disipados por fuentes electromagnéticas que poseen/emiten mayores cantidades de campo eléctrico (redes eléctricas de media tensión).

Al realizar la ejecución (compilación) de determinados escenarios hipotéticos; se observó como el ansys maxwell es incapaz de realizar el mallado (mesh), cuando estos escenarios hipotéticos alcanzan considerables valores de volumen. Direccionando, las estrucciones en el software Inventor con un valor máximo de 50 mm en todos los escenarios hipotéticos. Los volúmenes de aire que envuelven a los distintos escenarios hipotéticos en el ansys maxwell, se encuentran ajustados de modo que estos adquieran un máximo volumen de confinamiento.

Es posible diseñar los escenarios hipotéticos en el software ansys maxwell, con el inconveniente que, los escenarios resultantes estarían con un considerable grado de error en la ubicación, dimensiones y propiedades de diseño de los elementos emisores/receptores de campo electromagnético. Por ello, se utilizó el software Inventor en el diseño de los elementos eléctricos, con el propósito de obtener resultados más promisorios.

Con base a los resultados obtenidos en el capítulo III se evidenció que los campos eléctricos inducen mayor cantidad de energía que los campos magnéticos en los diferentes escenarios hipotéticos del corredor vial, considerando que mayoritariamente las líneas de media tensión y la catenaria del tranvía no se encuentran aisladas, induciéndose reducidas cantidades de energía en los raíles.

Los campos magnéticos energéticamente, influyen de manera muy escaza en los demás elementos electromagnéticos; por las pequeñas cantidades de corriente que poseen las redes eléctricas en

media/baja tensión y a las distancias a las que se ubican, siendo, la catenaria del tranvía la predominante en los escenarios hipotéticos A, B y C.

Se determinó como el sentido de flujo de los campos magnéticos presentes en los escenarios hipotéticos A, B y C se ven gobernados por el flujo de los CM emitidos por la catenaria del tranvía, por la cantidad de corriente que estos elementos transportan. Los escenarios D y E evidenciaron débiles campos magnéticos, que son emitidos desde redes eléctricas en media/baja tensión donde no existe sistemas ferroviarios.

Se notó cómo se comporta el campo magnético en los conductores ACSR que componen la red eléctrica de media tensión; los campos magnéticos tienden a inducirse en el núcleo de acero, es así que, los campos magnéticos emitidos desde este tipo de conductores se los consideró como nulos.

5.2 Recomendaciones:

A los escenarios hipotéticos se implementó en condiciones ambientales sin vientos y lluvias. Se asume al tiempo de servicio eléctrico entre las 7 pm y 10 pm, con el propósito de obtener la mayor cantidad de consumo energético y tener en funcionamiento de las luminarias. Al respecto, en caso de seguir con el estudio es conveniente alterar estos parámetros, pudiendo ser analizados en días lluviosos y/o con variaciones del viento, con otros periodos de tiempo.

En el desarrollo del proyecto se usó probabilidades de ocurrencia en eventos de consumo energético, con la finalidad de encontrar las magnitudes de corriente en los conductores. En caso de hacer estudios relacionados es conveniente encontrar valores ajustados a la realidad, mediante

mediciones en campo de las magnitudes de corriente en baja tensión;, es posible, obtener valores más promisorios de corriente, mediante flujos de potencia. De esta manera, se podría mejorar en cierto porcentaje los resultados del acoplamiento magnético, en los distintos escenarios.

Los valores de corriente/voltaje para la catenaria y rieles del tranvía, se identificaron en otros proyectos de titulación, valores tomados de un sector cercano a los puntos de interés. De modo que, se recomienda encontrar valores más cercanos a la realidad mediante el cálculo del consumo energético del tranvía mientras circula en los escenarios hipotéticos planteados. También, es posible obtener los datos de corriente mediante las propiedades de fábrica de los inversores de corriente que posee el tranvía en la alimentación de los motores asíncronos de AC.

Para nuestro análisis se asumió que el tranvía se desplaza por los raíles del sistema ferroviario I (derecha), al respecto, se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto la complementación del estudio, analizando el tranvía viajando por el sistema ferroviario II y considerar la no circulación del tranvía en los escenarios hipotéticos A. B y C.

En el análisis de este proyecto, no se incluyó a ningún tipo de vehículo en circulación; por ello, se recomienda implementar determinado número de vehículos; en la calzada izquierda y/o derecha, que permita conocer el grado de afectación a la integridad de los individuos que se encuentren dentro de los automotores.

6. BIBLIOGRAFÍA

ANSYS. (2013). *Ansys Maxwell (versión 16.0) [software]*. Obtenido de https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell

Autodesk. (2016). *Autodesk Inventor profesional (versión 2017) [software]*. Obtenido de https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional

CENTROSUR. (Febrero de 2018). *Geoportal - Empresa Eléctrica Regional Centro Sur*. Obtenido de http://geoportal.centrosur.com.ec/geoportal/Default.aspx

Ecuacable. (2015). *CABLE PREENSAMBLADO AAC – AAAC. Daule - Ecuador.* Obtenido de http://www.ecuacable.ec/es/?page_id=182

ETAPA-EP. (2018). *Catastro de telecomunicaciones*. Obtenido de https://geo.etapa.net.ec/visortelecom/

General-Cable. (Abril de 2015). *Cables para la transmisión y distribución de energía eléctrica. Naucalpan, Estado de México.* Obtenido de https://www.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Mexico%20Site/Cat%C3%A1logos/Cables-para-transmision-y-Distribucion-de-Energia-Mex.pdf?ext=.pdf

Irwin, J. D. (1997). Circuitos y conexiones trifásicas . En J. D. Irwin, *Análisis Básico de Circuitos en Ingeniería* (págs. 522-527). Naucalpan de Juárez, México: PRENTICE – HALL, HISPANOAMERICANA S.A.

Joskowicz, D. I. (2015). Corriente de bucle . En D. I. Joskowicz, *Conceptos básicos de telefonía* (págs. 13-15). Montevideo, Uruguay: Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República.

MEER. (Abril de 2013). *Catalogo Digital - Homologación de las unidades de propiedad (up) y unidades de construcción (uc) del sistema de distribución eléctrica*. Obtenido de http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=80

Ortega Pintado, J. L. (2017). Evaluación de la tensión en la parada "Av. México". En J. L. Ortega Pintado, & J. J. Pillco Criollo, *Análisis del impacto eléctrico del material rodante tranvía de cuenca en la línea de corriente continua* (págs. 43-45). Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Pérez, H. (Agosto de 1998). *Artículos técnicos IIE - Campos electromagnéticos producidos por líneas de transmisión y la compatibilidad electromagnética en derechos de vía compartidos.* Obtenido de https://www.ineel.mx/publica/bolja98/hugoja98.htm

PROCABLES. (2013). *Conductores Multiplex de Aluminio: Bogotá, Colombia.* Obtenido de http://www.procables.com.co/downloads/catalogo-conductores_multiplex_de_aluminio.pdf

REE. (2001). Normativas de exposición pública . En R. E. REE, *Campos eléctricos y magnéticos de 50Hz, Análisis del estado actual de conocimientos* (págs. 70 - 72). Madrid, España: GRUPO PANDORA S.A.

Sadiku, M. N. (2003). Campos eléctricos debidos a distribuciones continuas de carga. En M. N. Sadiku, *Elementos de Electromagnetismo* (págs. 111-122). México DF, México: Oxford University Press Mexico S.A. de C.V. by Oxford University Press, Inc. .

Sadiku, M. N. (2003). Densidad de energía en campos electroestáticos . En M. N. Sadiku, *Elementos de Electromagnetismo* (págs. 146-150). México DF, México: Oxford University Press Mexico S.A. de C.V. by Oxford University Press, Inc. .

Sadiku, M. N. (2003). Densidad de flujo magnético . En M. N. Sadiku, *Elementos de Electromagnetismo* (págs. 281-283). México DF, México: Oxford University Press Mexico S.A. de C.V. by Oxford University Press, Inc. .

Sadiku, M. N. (2003). Energia magnética . En M. N. Sadiku, *Elementos de Electromagnetismo* (págs. 339-347). México DF, México: Oxford University Press Mexico S.A. de C.V. by Oxford University Press, Inc. .

Stewart, J. (2012). Campos Vectoriales. En J. Stewart, *Calculo de varias variables trascendentes tempranas* (págs. 1056-1061). México DF, México: Cengage Learning Editores, S.A, de C.V., una compañía de Cengage Learning, Inc.

Stewart, J. (2012). Curvas de nivel. En J. Stewart, *Calculo de varias variables trascendentes tempranas* (págs. 883-886). México DF, México: Cengage Learning Editores, S.A, de C.V., una compañía de Cengage Learning, Inc.

UNESA. (2016). Niveles de exposición. En A. E. Eléctrica, *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz* (págs. 18-25). Madrid, España.

UNIDAD CET-N&E. (2015). *Grupo EPM, Especificación técnica de postes de concreto. Medellín, Colombia.* Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Energia/EspecificacionesTecnicas/Postes/ET-TD-ME04-01%20POSTES%20DE%20CONCRETO.PDF

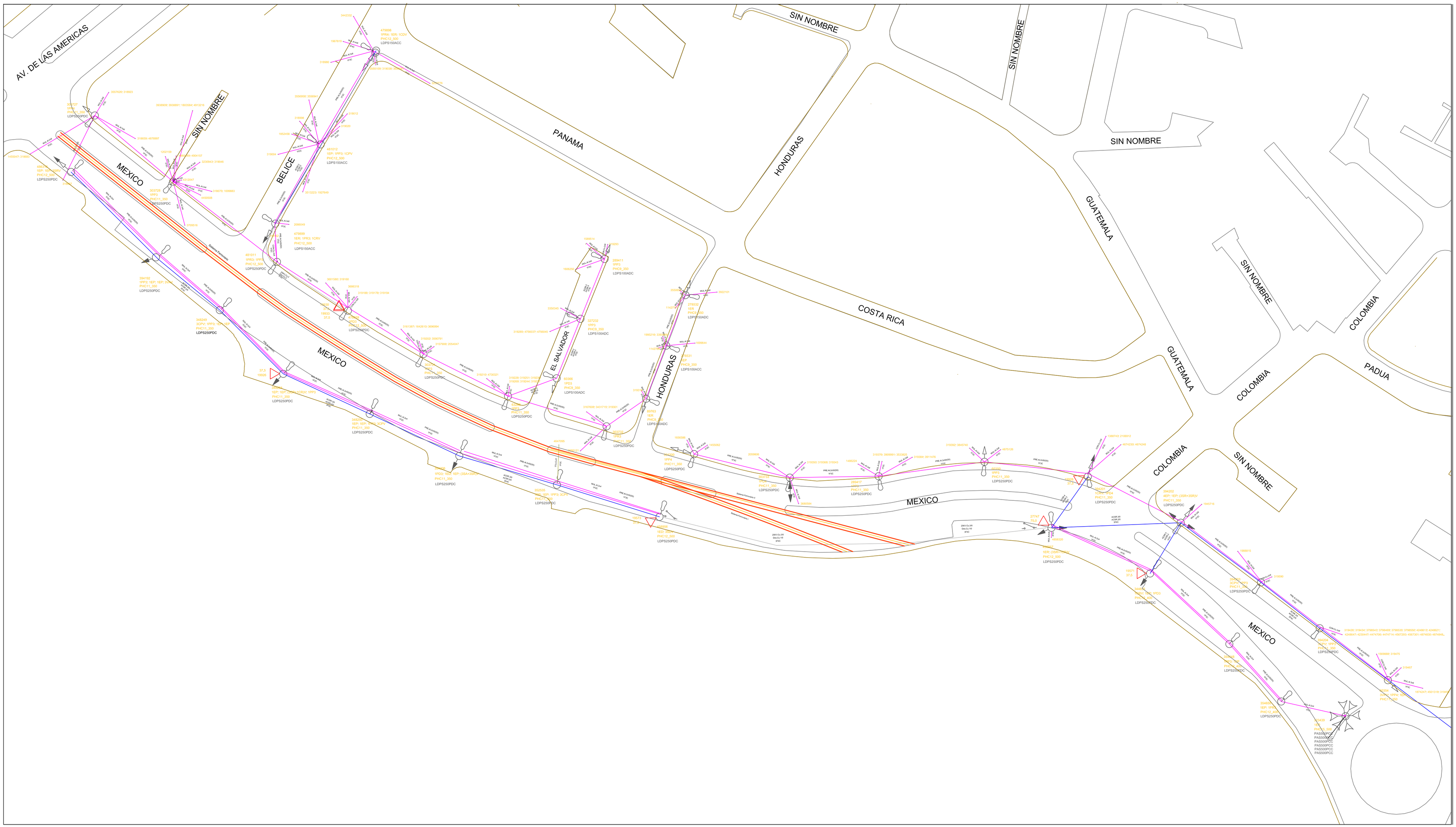
Viakon. (03 de 2006). *Acometida Exterior 2x18 (ACV). Monterrey, México.* Obtenido de http://www.viakon.com/pdf/categorias/18.pdf

Viakon. (2015). *Cable de Aluminio Desnudo con Alma de Acero ACSR. Monterrey, México.* Obtenido de http://www.viakon.com/catalogo/tablas_pdf/94.pdf

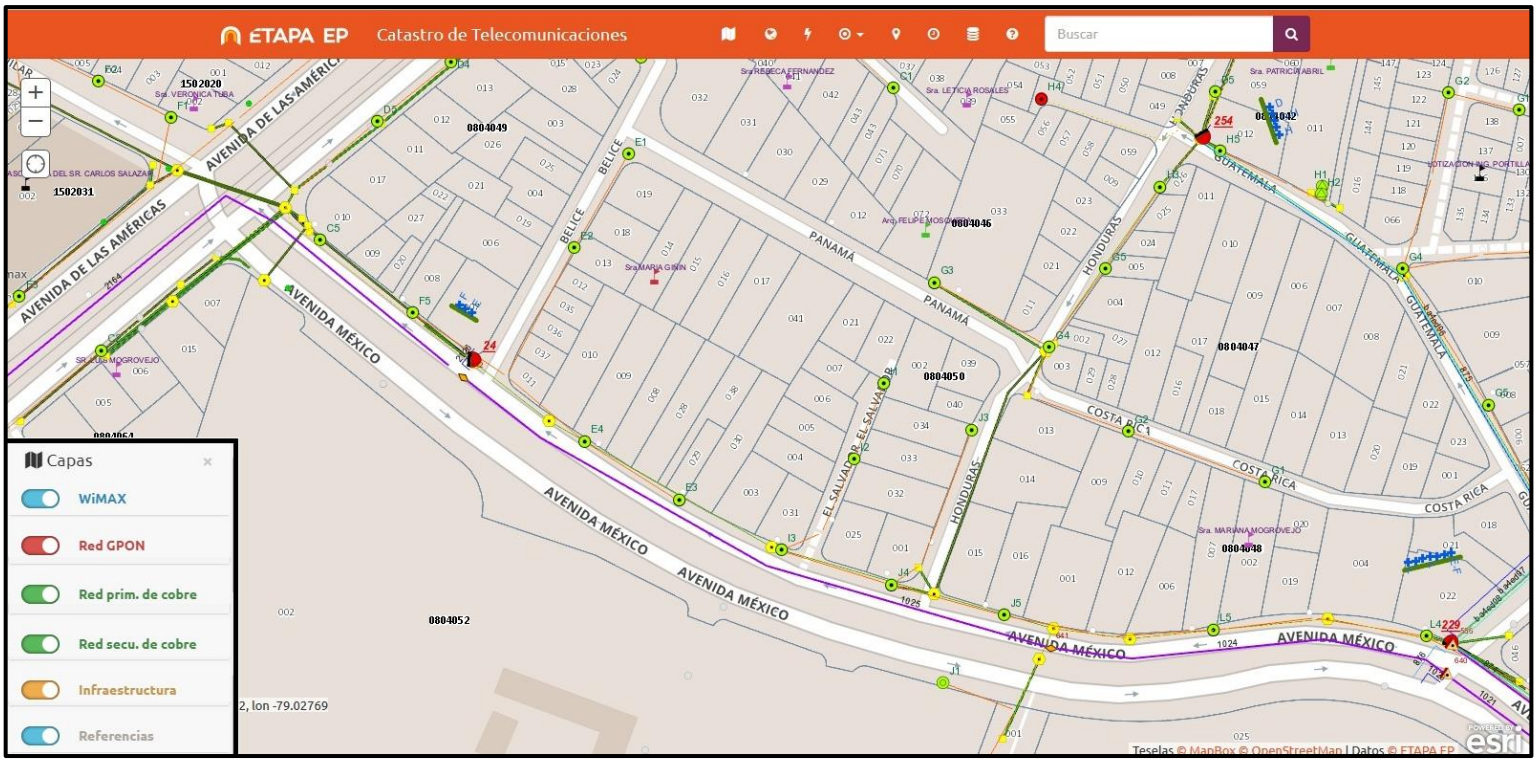
Walpole, R. E. (1999). Probabilidad de un evento. En R. E. Walpole, R. H. Myers, & S. L. Myers, *Probabilidad y estadística para ingenieros* (págs. 13-30). México DF, México: PRENTICE – HALL, HISPANOAMERICANA S.A.

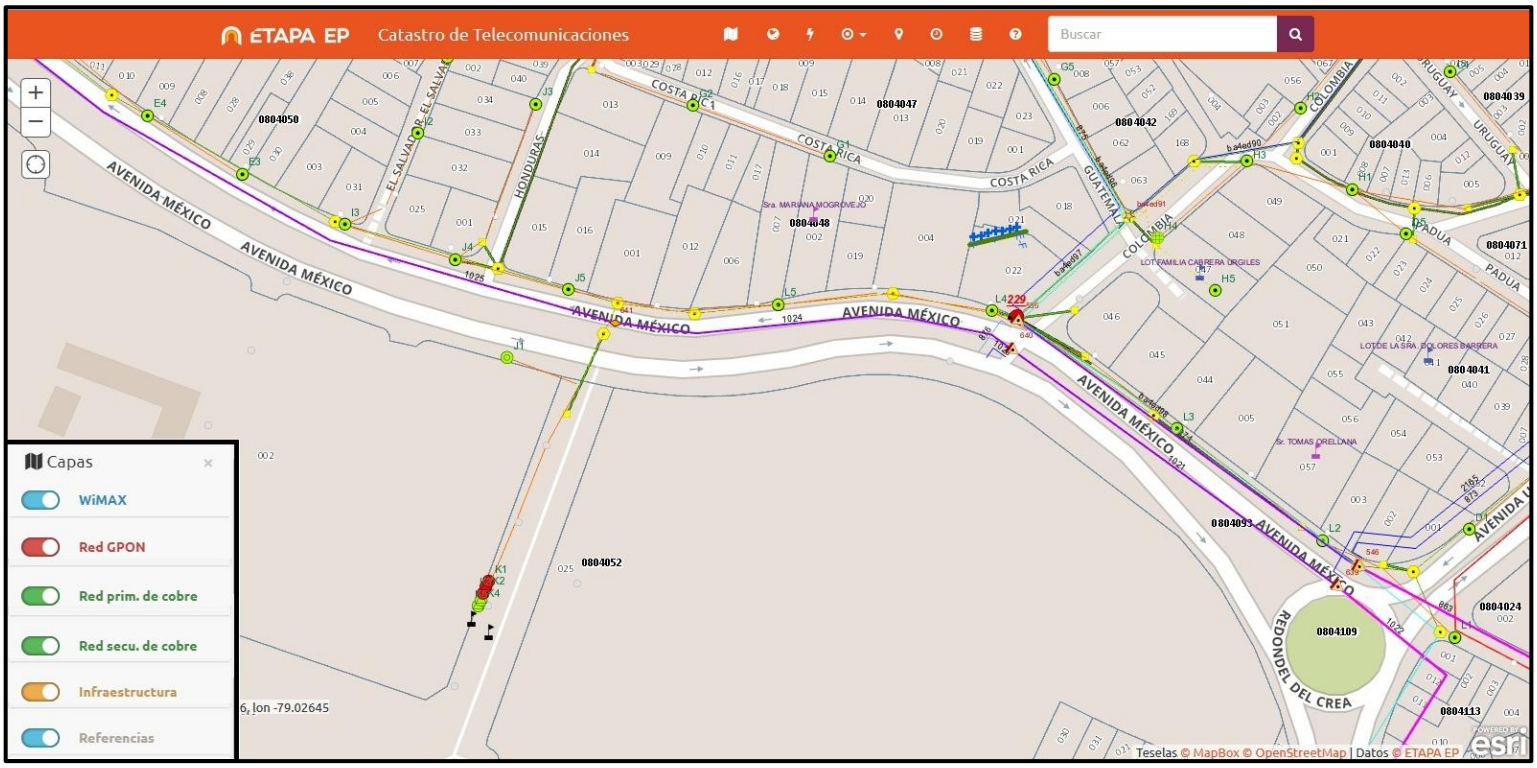
William H. Hayt, J. (2007). Capacitancia de una línea de dos hilos . En J. William H. Hayt, & J. A. Buck, *Teoría electromagnética* (págs. 177-180). México DF, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, EDITORES S.A. DE C.V. A subsidiary of THE McGRAW-HILL Companies, Inc.

Anexo 1

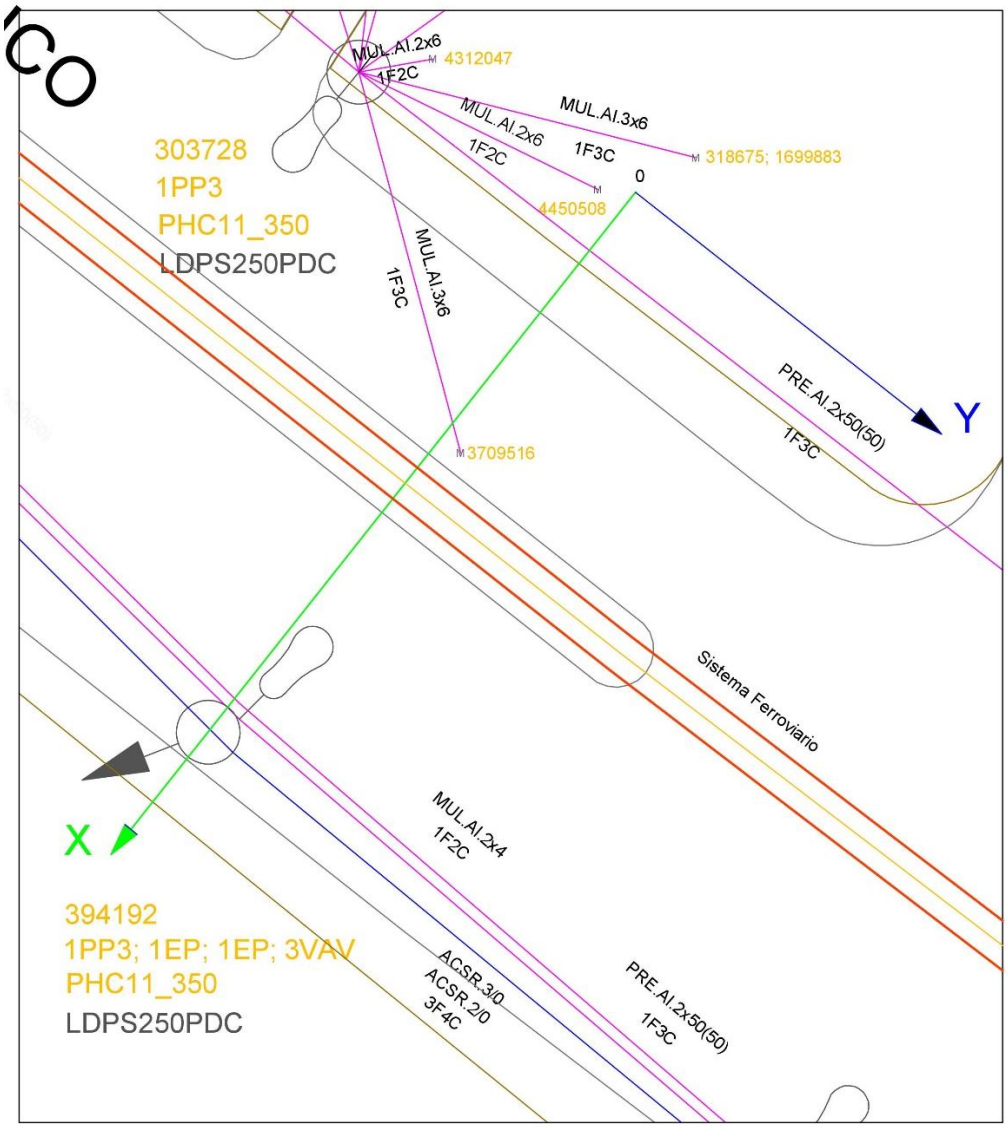

AV. DE LAS AMERICAS
SIN NOMBRE
MEXICO
BELICE
PANAMA
HONDURAS
COSTA RICA
GUATEMALA
COLOMBIA
PADUA
EL SALVADOR

ANEXO 2

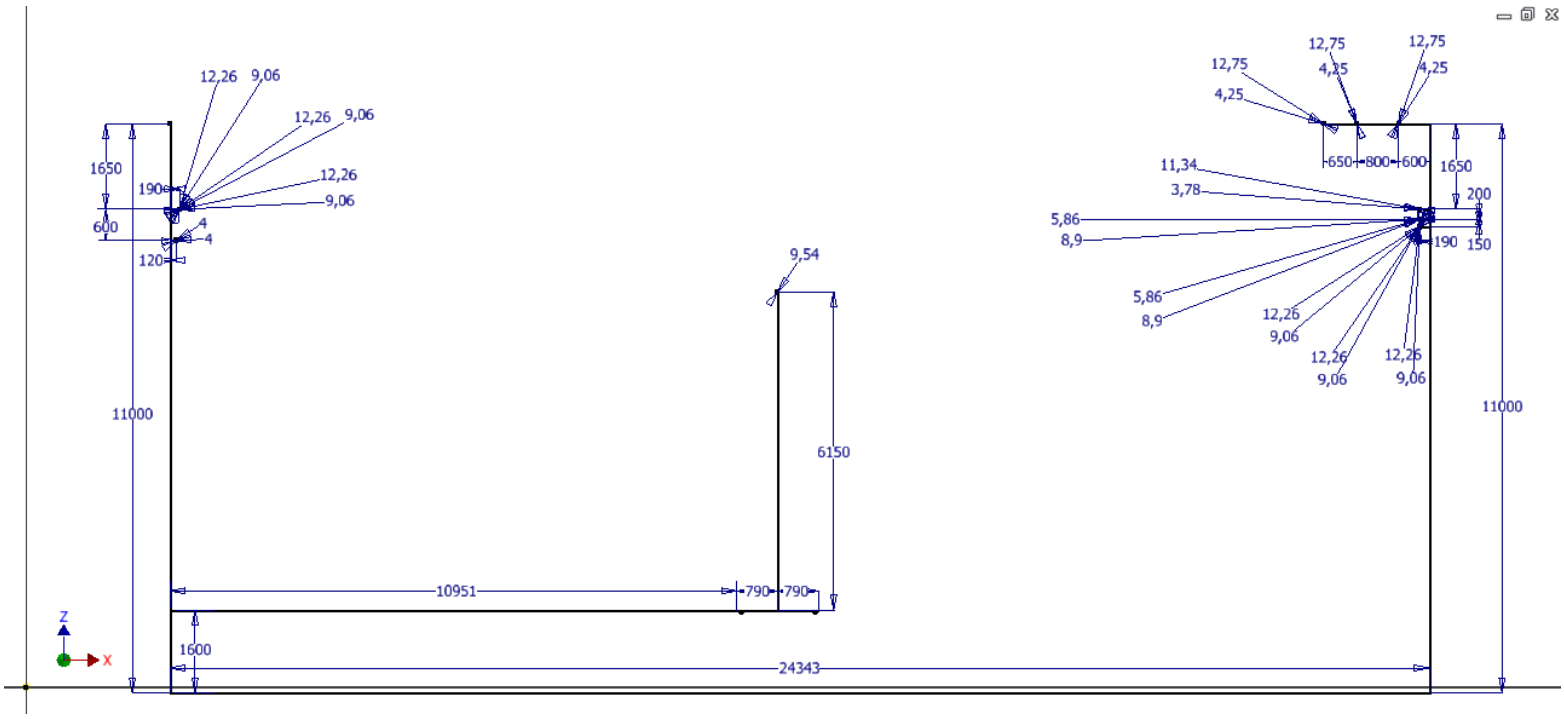

ETAPA EP
Catastro de Telecomunicaciones
Buscar
AVENIDA DE LAS AMÉRICAS
AVENIDA MÉXICO
BELICE
PANAMÁ
HONDURAS
GUATEMALA
EL SALVADOR
COSTA RICA
Capas
WiMAX
Red GPON
Red prim. de cobre
Red secu. de cobre
Infraestructura
Referencias
Teselas © MapBox © OpenStreetMap | Datos © ETAPA EP


ETAPA EP
Catastro de Telecomunicaciones
Buscar
AVENIDA MÉXICO
COSTA RICA
HONDURAS
EL SALVADOR
GUATEMALA
COLOMBIA
URUGUAY
PADUA
ROTONDEL DEL CREA
Capas
WiMAX
Red GPON
Red prim. de cobre
Red secu. de cobre
Infraestructura
Referencias
Teselas © MapBox © OpenStreetMap | Datos © ETAPA EP

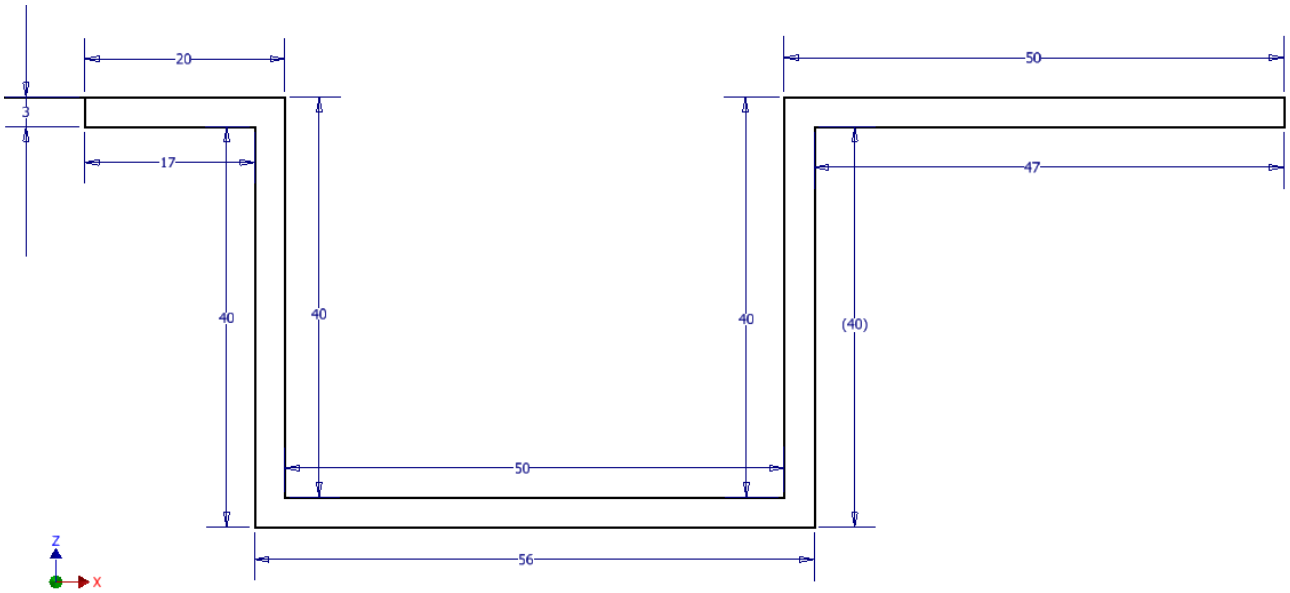
ANEXO 3



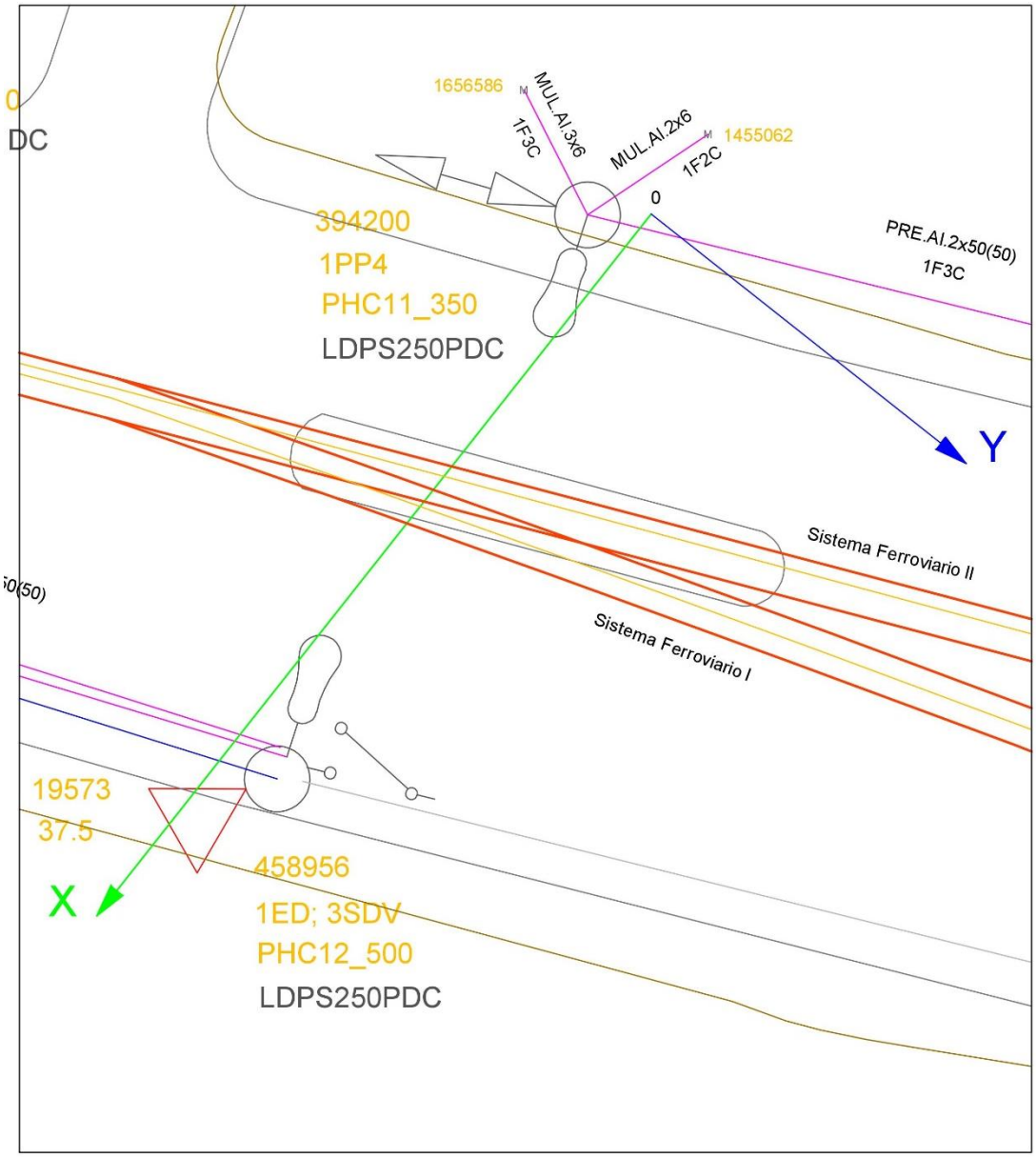
ANEXO 4



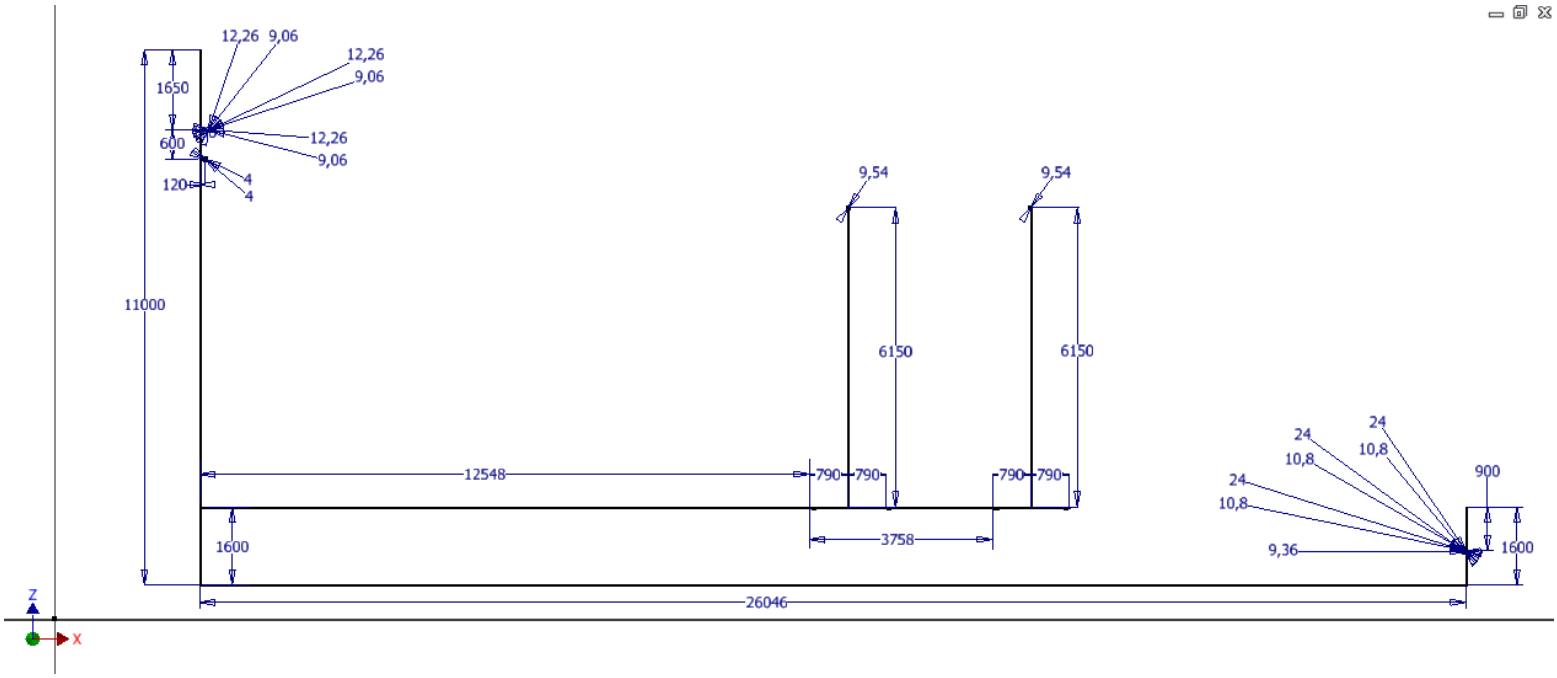
ANEXO 5



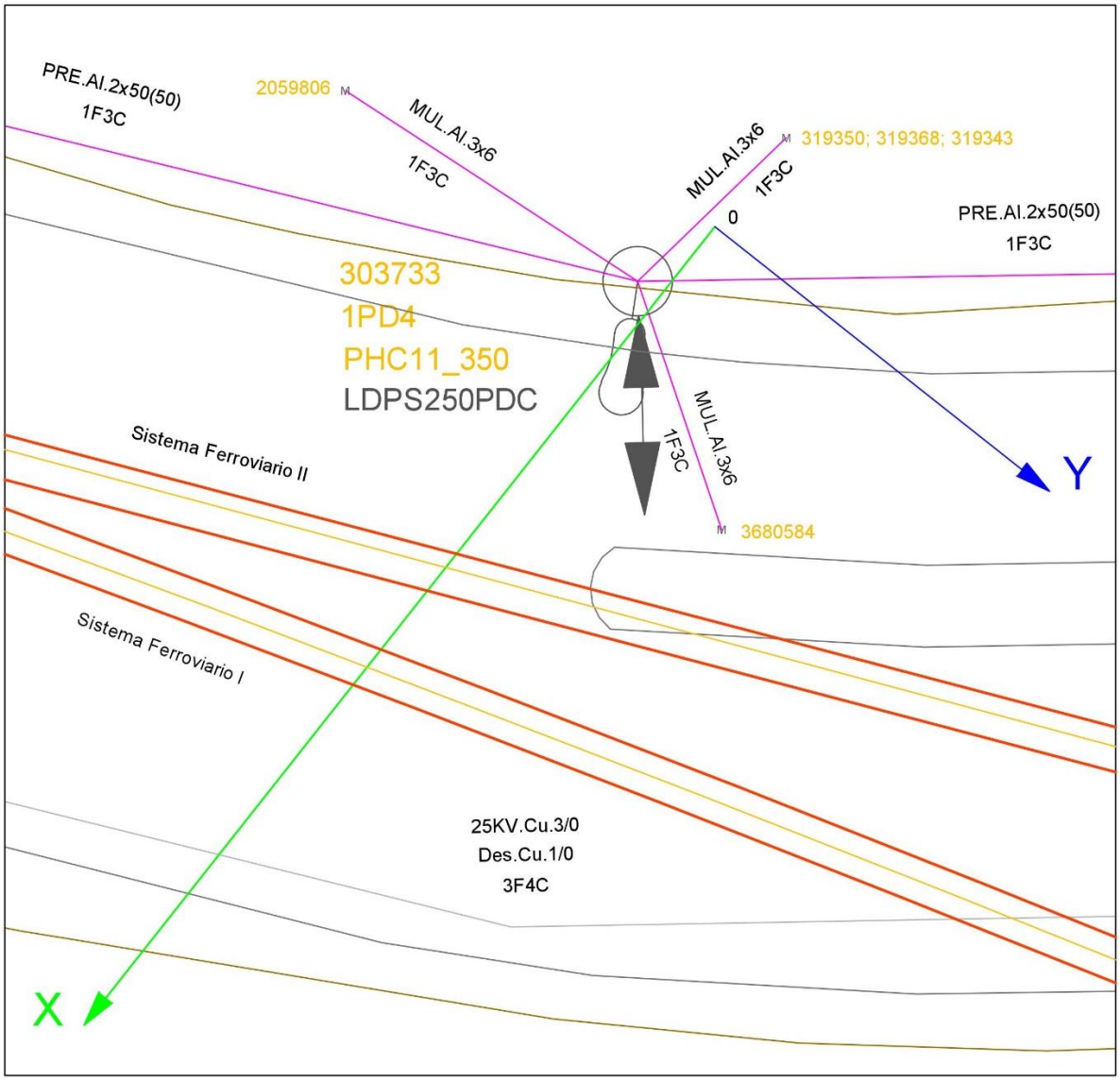
ANEXO 6



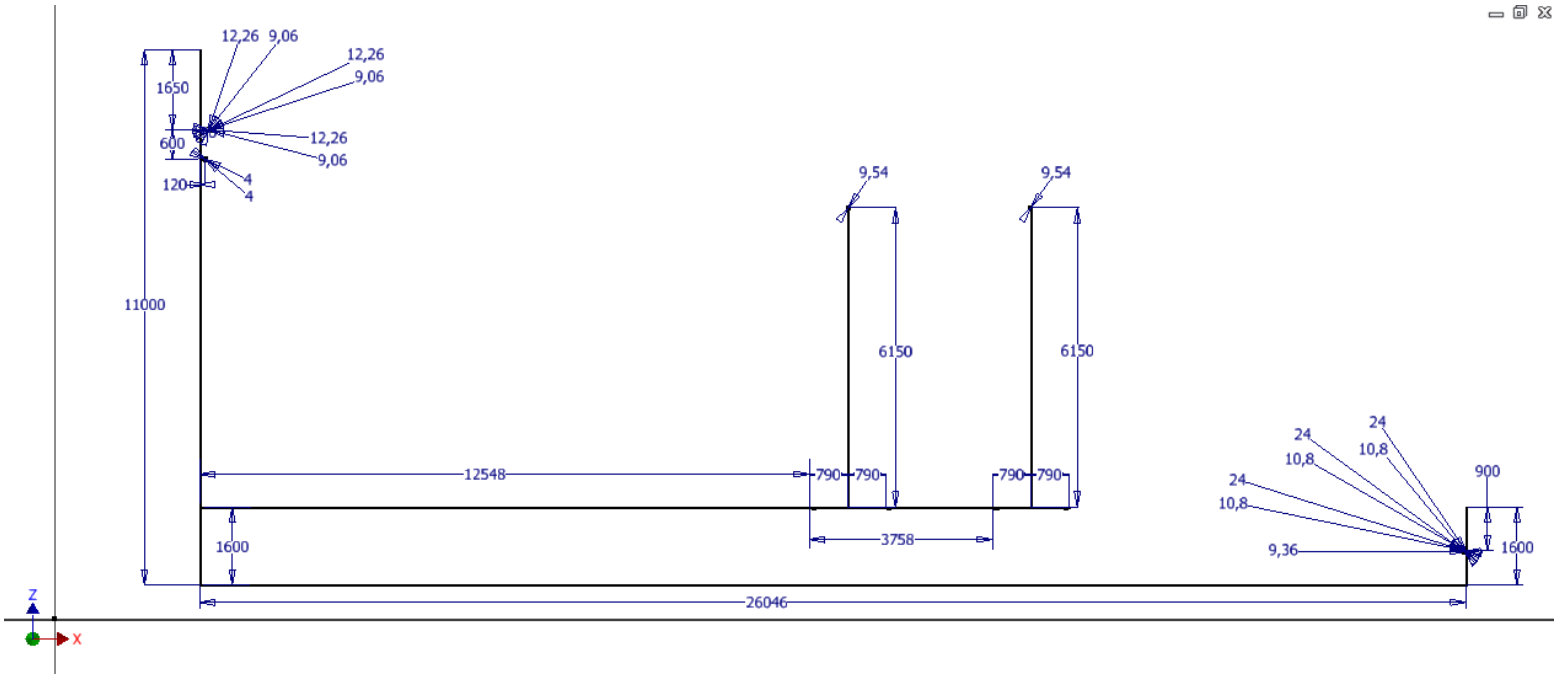
ANEXO 7



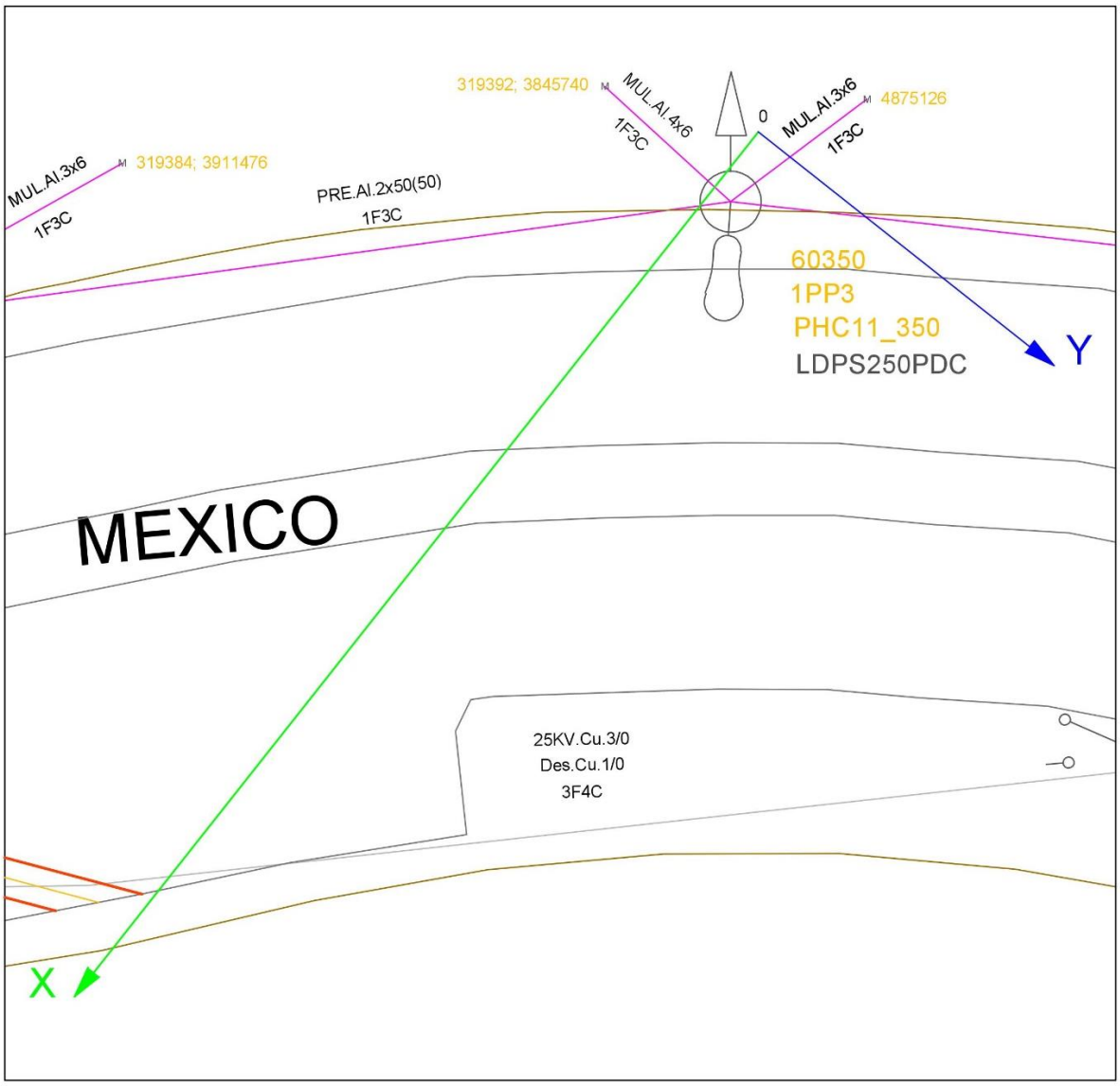
ANEXO 8



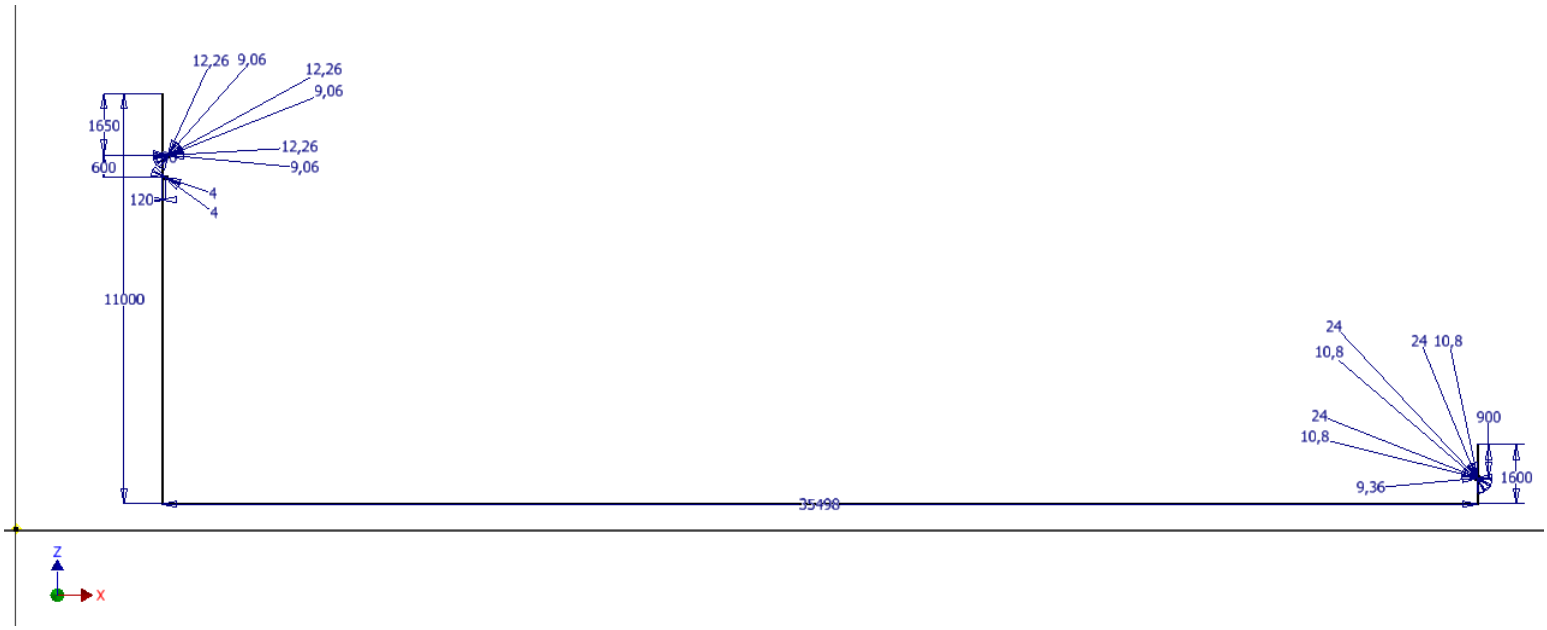
ANEXO 9



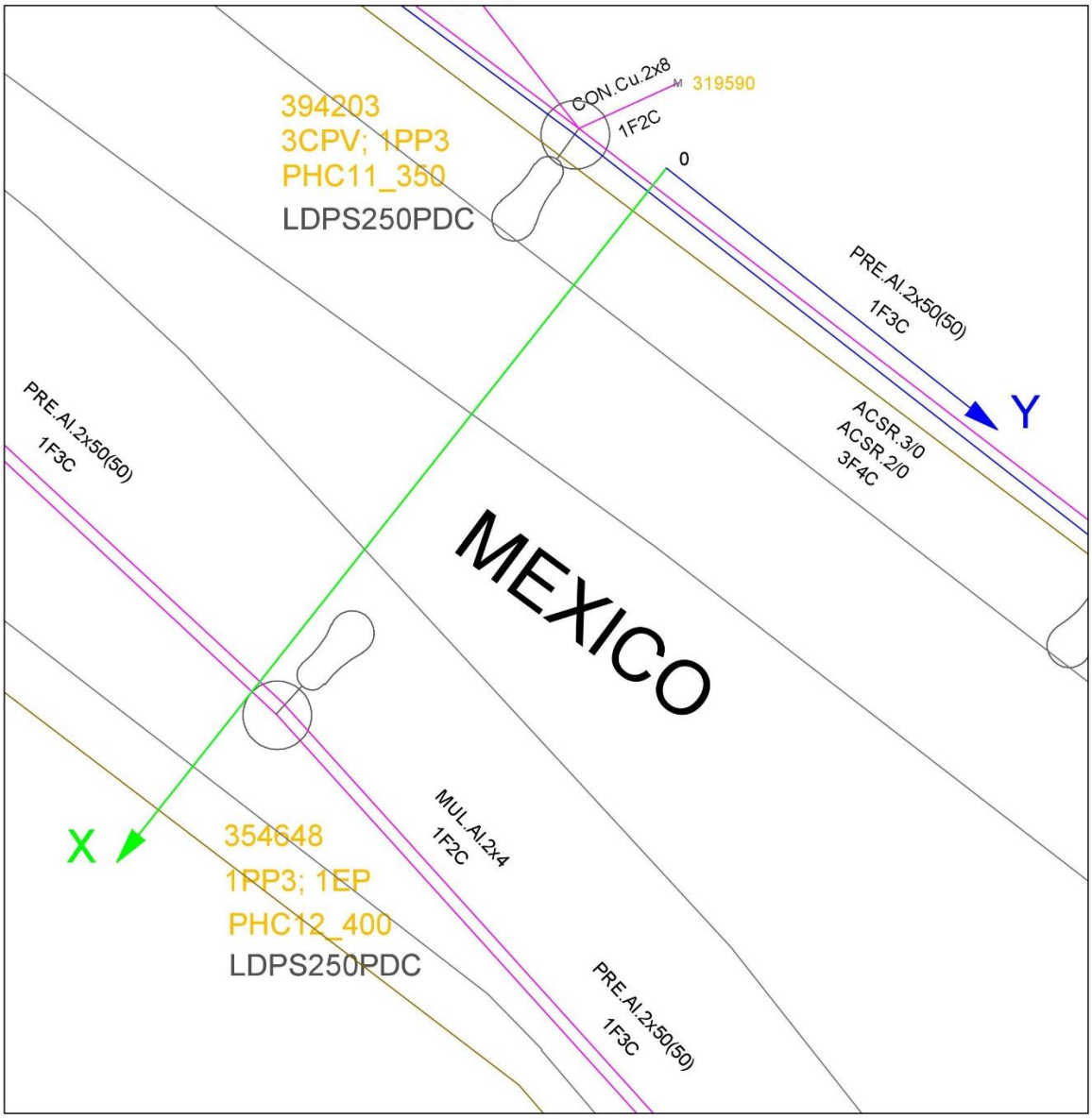
ANEXO 10



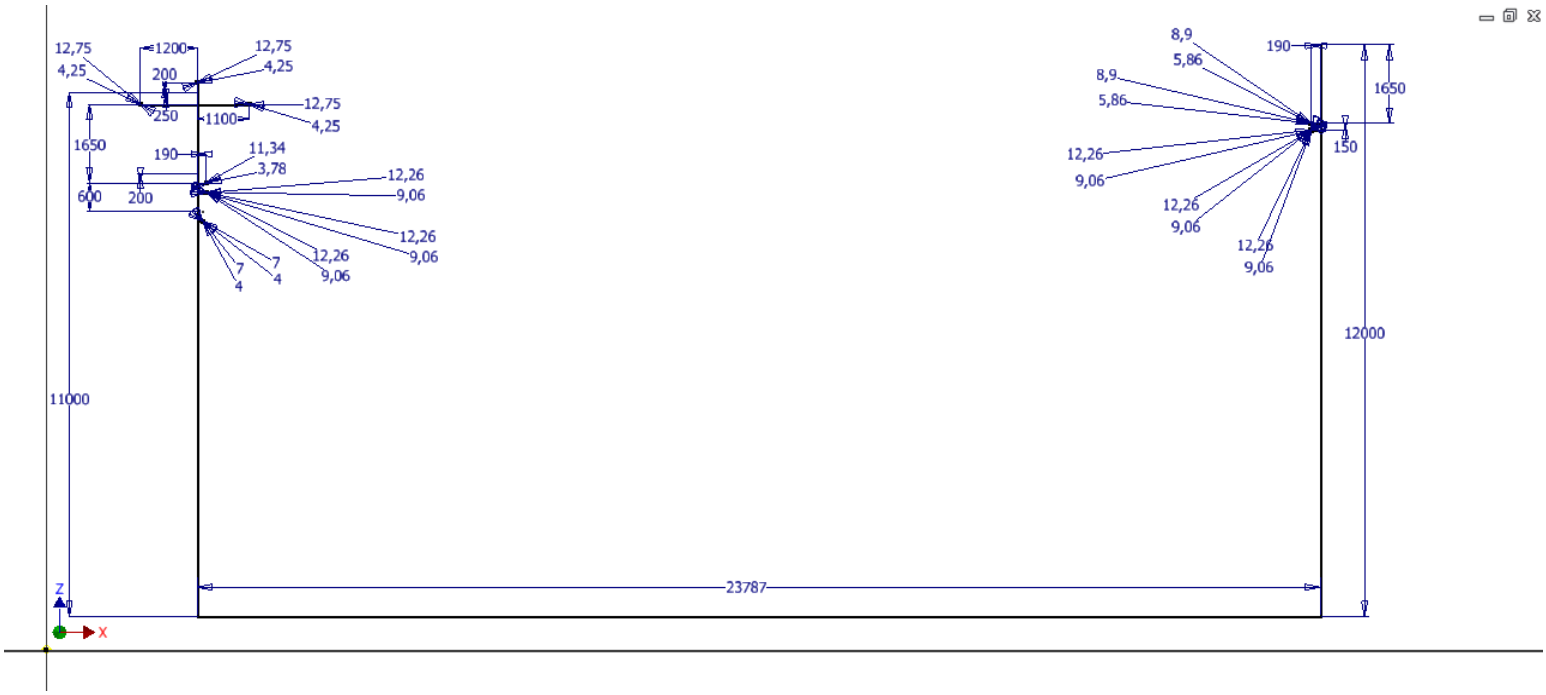
ANEXO 11



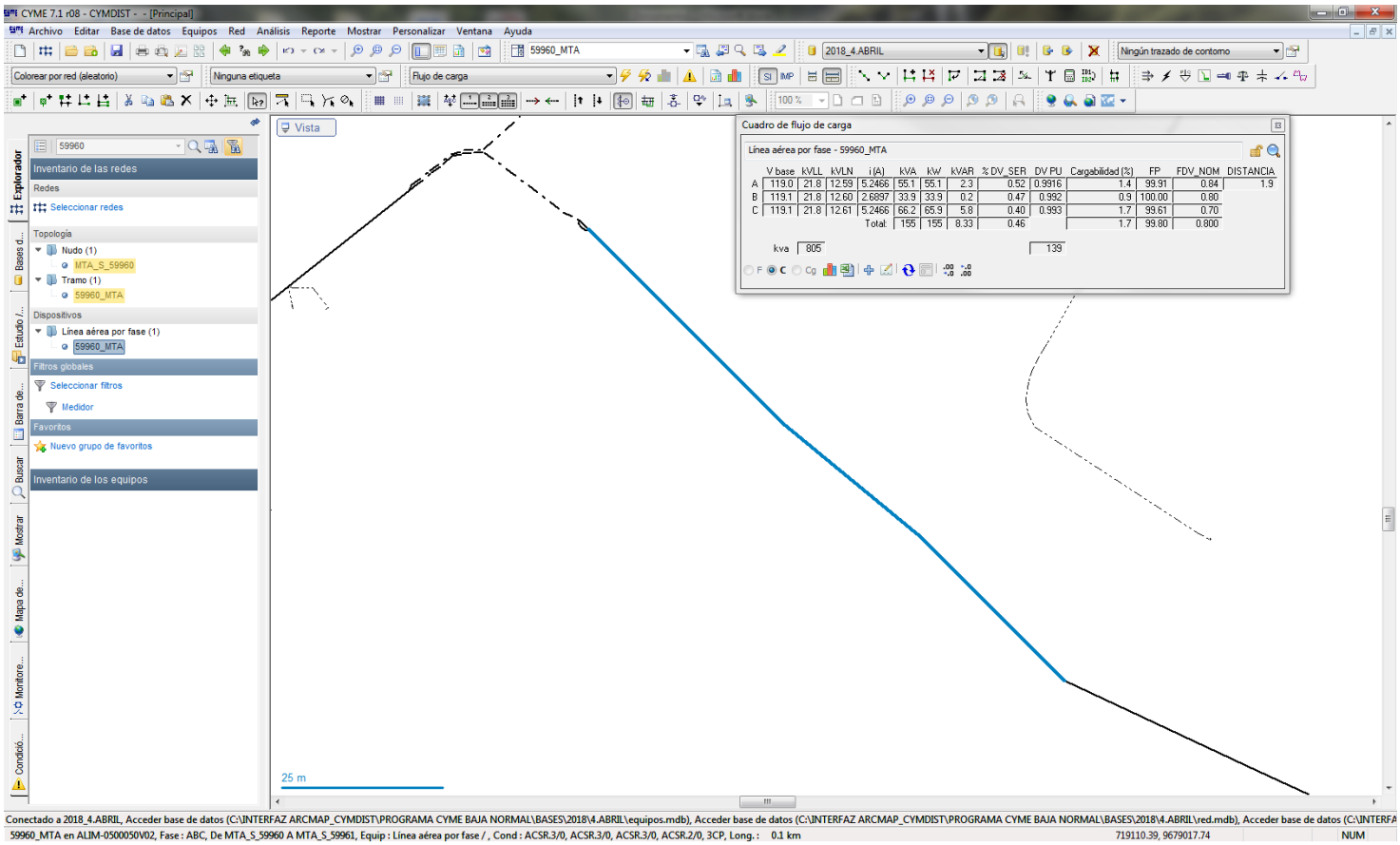
ANEXO 12



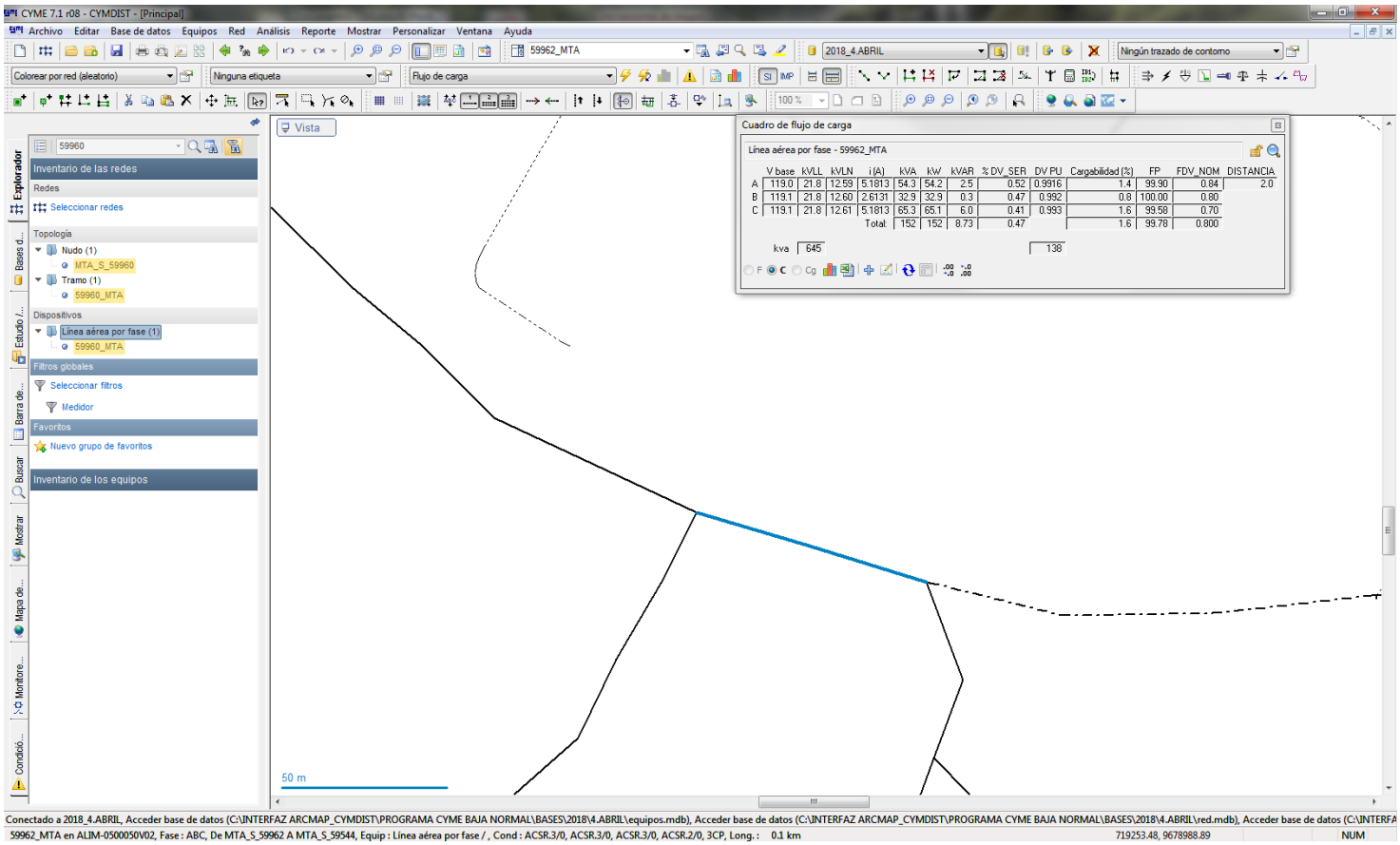
ANEXO 13



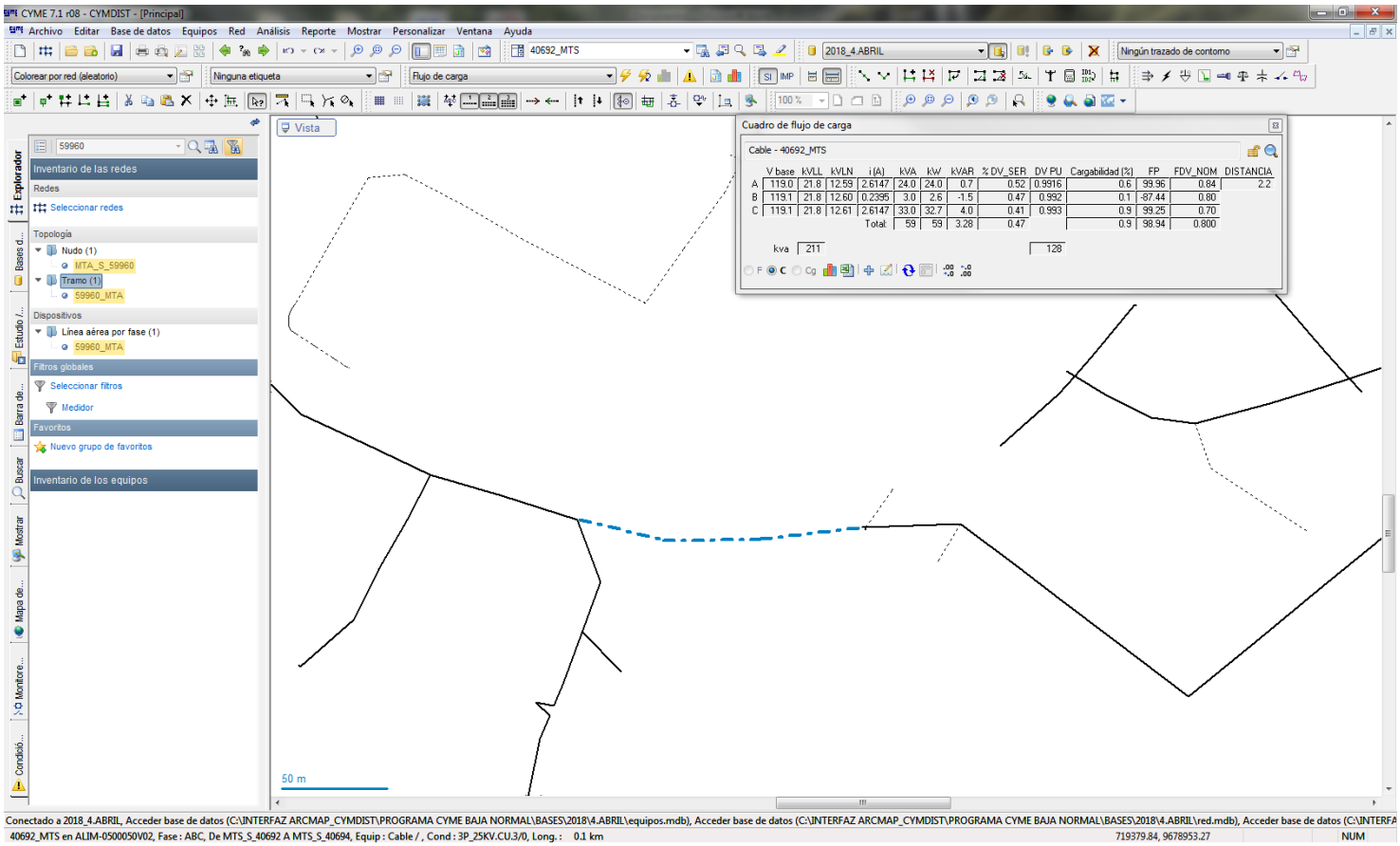
ANEXO 14



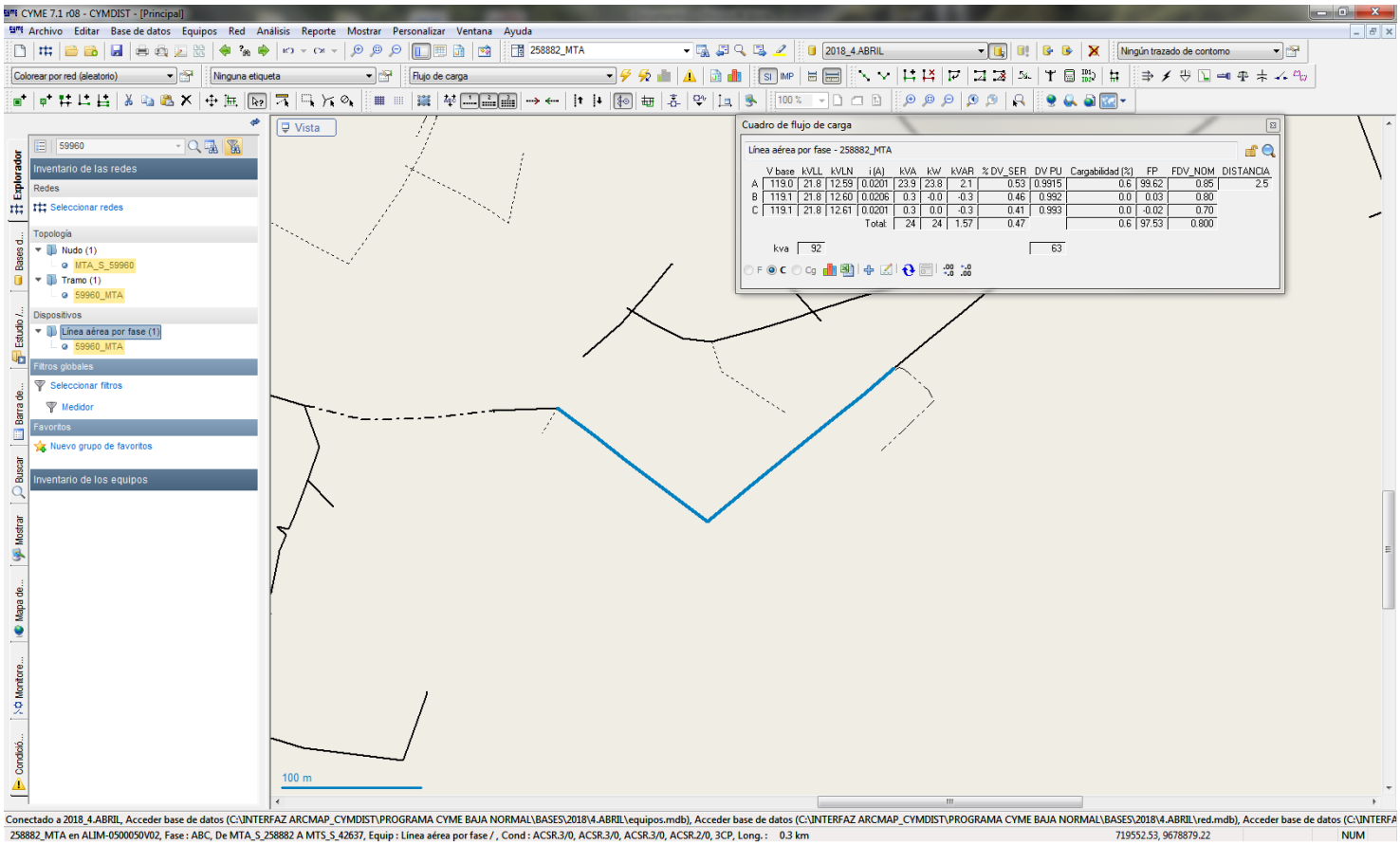
ANEXO 15



ANEXO 16



ANEXO 17


CYME 7.1 r08 - CYMDIST - [Principal]
Archivo Editar Base de datos Equipos Red Análisis Reporte Mostrar Personalizar Ventana Ayuda
258882_MTA
2018_4.ABRIL
Ningún trazado de contorno
Colorear por red (aleatorio)
Ninguna etiqueta
Flujo de carga
Vista
Inventario de las redes
Redes
Seleccionar redes
Topología
Nudo (1)
MTA_S_59960
Tramo (1)
59960_MTA
Dispositivos
Línea aérea por fase (1)
59960_MTA
Filtros globales
Seleccionar filtros
Medidor
Favoritos
Nuevo grupo de favoritos
Inventario de los equipos
Cuadro de flujo de carga
Línea aérea por fase - 258882_MTA
V base kVLL kVLN i (A) kVA kW kVAR % DV_SER DV PU Cargabilidad (%) FP FDV_NOM DISTANCIA
A 119.0 21.8 12.59 0.0201 23.9 23.8 2.1 0.53 0.9915 0.6 99.62 0.85 2.5
B 119.1 21.8 12.60 0.0206 0.3 0.0 -0.3 0.46 0.992 0.0 0.03 0.80
C 119.1 21.8 12.61 0.0201 0.3 0.0 -0.3 0.41 0.993 0.0 -0.02 0.70
Total 24 24 1.57 0.47 0.6 97.53 0.800
kva 92
63
100 m
Conectado a 2018_4.ABRIL, Acceder base de datos (C:\INTERFAZ ARCMAP_CYMDIST\PROGRAMA CYME BAJA NORMAL\BASES\2018\4.ABRIL\equipos.mdb), Acceder base de datos (C:\INTERFAZ ARCMAP_CYMDIST\PROGRAMA CYME BAJA NORMAL\BASES\2018\4.ABRIL\red.mdb), Acceder base de datos (C:\INTERFA
258882_MTA en ALIM-0500050V02, Fase : ABC, De MTA_S_258882 A MTS_S_42637, Equip : Línea aérea por fase / , Cond : ACSR.3/0, ACSR.3/0, ACSR.3/0, ACSR.2/0, 3CP, Long. : 0.3 km
719552.53, 9678879.22
NUM