

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética



Trabajo de Diploma

**Título: Modelación de un Sistema de Protección contra
Sobretensiones en equipos electrónicos sensibles.**

Autor: Alberto Alejandro Benítez Alonso

Tutores: Dr. Ángel C Valcárcel Rojas

MSc. Alberto Limonte Ruiz

Santa Clara

2016

“Año 57 de la Revolución”

Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética



Trabajo de Diploma

Título: Modelación de un Sistema de Protección contra
Sobretensiones en equipos electrónicos sensibles.

Autor: Alberto Alejandro Benítez Alonso.

email: benitez@uclv.cu

Tutores: Dr. Ángel C Valcárcel Rojas.

email: valca@uclv.edu.cu

MSc. Alberto Limonte Ruiz

email: limonte@uclv.edu.cu

Curso

2016 – 2017



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

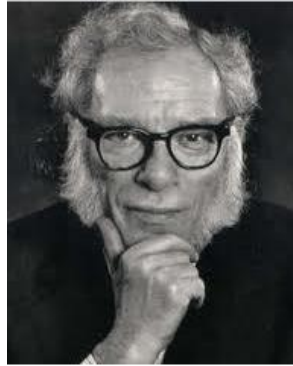
Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO



“La ciencia puede divertirnos y fascinarnos pero es la ingeniería la que cambia al mundo”

Issac Asimov

AGRDECIMIENTOS

Quisiera dedicar este trabajo a todas las personas que creyeron en mí y me brindaron todo su apoyo en los buenos y malos momentos.

A mis padres por dedicarme todo su amor y ayuda incondicional, y guiarme por el camino correcto.

A mis abuelos por todo su cariño, en especial a mi abuela Elia que hoy no se encuentra con nosotros.

A mis hermanos para que sigan estudiando.

A toda mi familia

A mi novia por todo su apoyo

DEDICATORIA

TAREA TÉCNICA

Para la realización de este trabajo se plantearon diferentes tareas como:

Evaluación del estado del arte en la modelación de la protección de equipos electrónicos sensibles.

Evaluación de la situación que se presenta en el Despacho Provincial de Villa Clara.

Determinación de las posibles causas que están provocando las fallas del equipamiento de telecomunicaciones del Despacho.

Modelación de la situación actual y de un escenario con las propuestas de solución del problema.

Evaluación de los resultados obtenidos en el trabajo.

RESUMEN

En la actualidad los procesos electroenergéticos industriales están muy acompañados por sistemas de control y equipos electrónicos, vulnerables a sobretensiones producidas por fallas transitorias y descargas atmosféricas que pueden dañar el equipamiento de manera casi irrecuperable. Por lo que una eficiente protección a tierra ahorraría a la empresa importantes gastos económicos.

En este trabajo se evalúa un sistema de puesta a tierra independiente implementado por la compañía de telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) en el Despacho Provincial de Villa Clara para proteger sus equipos electrónicos contra sobretensiones. El método utilizado es la modelación de la situación en el software ATPDraw (*Alternative Transients Program*). Para su simulación se tienen en cuenta fallas monofásicas e impacto de descargas atmosféricas en cada uno de los sistemas de puesta a tierra interconectados al Despacho. El proceso se analiza con la malla de tierra perteneciente a ETECSA desconectada del sistema en su conjunto y posteriormente conectada al sistema. Los resultados obtenidos de las simulaciones se comparan y se determina cuál es la opción que garantiza una mejor protección del equipamiento electrónico de comunicaciones.

La aplicación de este proyecto es de gran importancia ya que sobre las bases científicas se exponen las causas de las sobretensiones producidas actualmente en el Despacho Provincial de Villa Clara y se propone un escenario con posibles soluciones.

ÍNDICE

PENSAMIENTO	iv
AGRDECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
TAREA TÉCNICA	vii
RESUMEN	viii
ÍNDICE	ix
INDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE	18
1.1. Definición de Puesta a tierra	18
1.2. Objetivos de una puesta a tierra	18
1.3. Componentes básicos de un sistema de puesta a tierra.....	19
1.4. Clasificación de la puesta a tierra	20
1.5. Partes de sistema completo de puesta a tierra	21
Tierra	21
Tierra del circuito:	21
Tierra del equipo:.....	22
Tierra aislada:	22
Tierra de referencia de señal:	22
1.6. Definición de Equipo Electrónico Sensible	22
1.7. Puesta a tierra para sitios de telecomunicaciones	23
1.8. Subsistemas	23
Subsistema de tierra exterior:	23

Subsistema de tierra interior	24
1.9. Sobretensiones	24
1.10. Descargas Atmosféricas	25
1.11. Zonas de Protección contra Descargas Atmosféricas	26
1.12. Sistema exterior de protección contra descargas atmosféricas(SEPDA) 28	
1.13. Características de una Descarga Atmosférica.....	29
1.14. Efectos Eléctricos	29
1.15. Tipos de acoplamiento.....	30
1.16. Dispositivos de Protección contra Sobretensiones	31
1.17. Medidas de protección para interconexiones de datos / telefonía / instrumentación entre estructuras.....	31
1.18. ATPDraw	32
CAPÍTULO II Determinación de las posibles causas de fallas de los equipos de telecomunicaciones en el despacho provincial	34
2.1. Interfaz de usuario del ATPDraw	34
2.2. Modelación en ATPDraw	36
2.3. Esquema de simulación	40
2.3.1. Falla monofásica	42
2.3.2. Descarga Atmosférica	47
Capítulo III. Análisis Crítico del Sistema de Puesta a Tierra diseñado por ETECSA	50
3.1 Falla Monofásica en el transformador del Despacho	50
3.2 Falla monofásica en la Subestación por el lado 110 kV	52
3.3 Falla monofásica en la subestación por el lado de 34.5 kV	53
3.4 Falla monofásica en el grupo electrógeno de 13.2 kV	55

3.5 Descarga atmosférica en la subestación 110/34.5 kV	57
3.6 Descarga atmosférica en el grupo electrógeno 13.2 kV.....	58
3.7 Descarga atmosférica en el Despacho.	60
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.....	36
Figura 2.2.....	37
Figura 2.3.....	38
Figura 2.4.....	39
Figura 2.5.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.6.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.1 Simulación de falla monofásica por alta del transformador.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.2.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.3.....	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Ya desde 1883, Carl August Steinheil comprobó que la tierra conducía también la electricidad y que, por lo tanto, podía ser utilizada como un circuito de retorno de ésta, esto ayudó en el desarrollo de la telegrafía por hilo y sentó las bases para iniciar la técnica de puesta a tierra, en un principio, dentro del campo de las comunicaciones eléctricas. Luego no fue hasta junio de 1918 que C.S. Peters presentó un instructivo relativo a los sistemas eléctricos, el cual ahora se consideraría muy rudimentario, pero que en aquel tiempo impulsó la integración de una normalización para intentar resolver ordenadamente los problemas relacionados con la puesta a tierra.

Desde que se empezó a utilizar la electricidad se ha puesto en práctica en los sistemas eléctricos la puesta a tierra, ya que ésta provee un camino de baja impedancia para la corriente de falla que se origina cuando hay un problema en el circuito eléctrico. La red de conexión a tierra es una parte de un sistema eléctrico de potencia que requiere una elaboración minuciosa para garantizar la seguridad de las personas y el ajustado funcionamiento de los medios.

Desde el punto de vista de la Compatibilidad Electromagnética, el Sistema de Protección Integral contra Descargas Atmosféricas busca minimizar los efectos electromagnéticos asociados a estas descargas; esto con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos electrónicos.

Debido al incremento en la utilización de equipos electrónicos en los sistemas de información y procesamiento de datos, y con la llegada de los circuitos integrados y microprocesadores en los modernos equipos eléctricos y electrónicos, hoy en día, en las instalaciones se debe tener implementado un sistema de puesta a tierra eficiente ya que esto ayudaría a proteger los equipos sensibles a las variaciones de voltaje que se producen como consecuencia de los fenómenos electromagnéticos asociados a descargas atmosféricas u otros tipos de sobretensiones. Estos eventos pueden provocar elevadas corrientes de fallas y/o sobrevoltajes transitorios sobre los equipos, o diferencias de potencial no deseables entre equipos interconectados que están ubicados en diferentes sitios de la instalación. Teniendo en cuenta que

muchos de estos equipos poseen protecciones internas como supresores speak o ups, pues estas también pueden ser afectadas, por lo que una perturbación de tan alta magnitud de frecuencia puede afectar desde el software hasta el hardware de cualquier componente electrónico o eléctrico del sistema. El material de fabricación, tanto de los equipos como de sus conexiones, en su mayoría son conductores portadores de corrientes por lo que se debe estar regidos por las normas de seguridad para operar con ellos.

Si por una descarga a tierra, o entre nubes, o dentro de una misma nube, se produce una disipación de la carga de la nube, la carga acumulada en los objetos sobre la tierra tiende también a buscar su equilibrio y esto se manifiesta como una circulación de cargas hacia la tierra o lo que se conoce como una descarga electrostática teniendo efectos térmicos y mecánicos sobre la estructura. En cuanto a las descargas atmosféricas, los rayos pueden causar daños a los equipos, bien sea directamente si descargan sobre la instalación (una antena por ejemplo), o indirectamente cuando el rayo incide en las cercanías de la instalación y genera un campo electromagnético intenso que varía rápidamente con el tiempo induciendo sobrevoltajes y sobrecorrientes tipo impulso en los circuitos de los equipos; también puede provocar daño del aislamiento en los equipos del sistema de potencia generando una falla a tierra. La corriente de falla a tierra es una perturbación que puede interactuar a través del sistema con todos los equipos sensibles.

El propósito de seleccionar un nivel de protección es reducir por debajo del máximo nivel tolerable el riesgo de daño debido al impacto directo de la descarga atmosférica en la estructura o la instalación a ser protegida. Este se deriva de la eficiencia que se requiera del mismo para proteger debidamente al equipo o estructura en cuestión, considerando que la eficiencia de acuerdo al nivel de protección indica la garantía que ofrece el SPDA (Sistema de Protección contra Descarga Atmosférica) de proteger la estructura en la que ha sido instalado.

Si existen caminos alternos de retorno de la corriente de falla, o fracción de esta, que de manera no intencional fueron creados por la red de conexión a tierra del equipo sensible; entonces se pueden producir daños sobre componentes que no

están diseñados para soportar las elevadas corrientes de falla de un circuito de potencial. Otro aspecto importante es que una corriente de falla que retorne por el terreno provoca diferencias de potencial entre diferentes puntos del terreno, lo cual puede provocar circulación de corrientes no deseadas entre elementos ubicados a diferente potencial y que operan interconectados mediante un cable coaxial o un cable multipar.

Las sobretensiones que se generan pueden ser internas o externas donde las internas se originan en las propias subestaciones y pueden superar la tensión existente bajo condiciones de estado estable, por lo que el aislamiento de éstas estará sometido a sus efectos sin que haya amortiguamiento. Otro caso es, las sobretensiones producidas por las descargas atmosféricas, que normalmente se generan en las líneas y se amortiguan bastante antes de afectar el aislamiento de las subestaciones o por impacto directo en las subestaciones.

El apantallamiento es una medida preventiva que se instala para atenuar los efectos que pudieran tener las sobretensiones sobre los equipos o instalaciones que se desean proteger. Este atenúa los efectos electromagnéticos (campos magnéticos, sobretensiones) una vez que el SPDA ha sido instalado. Es variable respecto al número de conductores bajantes del SPDA

La puesta a tierra provee una serie de caminos interconectados para reducir las diferencias de voltaje entre puntos críticos a valores seguros y permisibles. Con la puesta a tierra de un sistema se busca lograr que las interferencias debido a las diferencias de voltaje a través de entradas sensitivas o a través de otros terminales críticos del circuito, deben mantenerse en valores bajos para que el correcto funcionamiento del circuito no se vea afectado y además evitar que por diferencias de tensión y errores de conexión existan corrientes vagabundas en la instalación así como garantizar la seguridad de los operarios.

Antecedentes de la situación:

En el despacho provincial de Villa Clara en los últimos años se han presentado tres eventos de cortocircuito en el banco de transformadores, causantes de grandes pérdidas en el local de telecomunicaciones fundamentalmente, sin descartar que

estas afectaciones pueden ser provocadas también por descargas atmosféricas por impacto directo o indirecto.

Esta situación es la razón de este estudio, por lo que el problema científico del trabajo es:

¿Cómo lograr una mejor protección del equipamiento de telecomunicaciones en el Despacho Provincial de Villa Clara, una vez determinadas las posibles causas de sobretensiones en la instalación?

Como respuesta a esta interrogante se plantea el objetivo general siguiente:

Evaluar las posibles causas de sobretensión que se puede dar en el Despacho Provincial de Villa Clara y proponer una solución técnica que resuelva el problema existente.

Por lo que se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la modelación de la protección para equipos electrónicos sensibles así como la situación en el Despacho Provincial de Villa Clara.
2. Determinar las posibles causas de las fallas de los equipos de telecomunicaciones.
3. Modelar la situación actual y proponer un escenario con las propuestas de solución del problema.
4. Analizar el resultado de la implementación del sistema de protección contra sobretensiones para equipos electrónicos sensibles.

Organización del informe

El presente trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos de acuerdo con los objetivos específicos que se persiguen.

Primer Capítulo: Fundamentos teóricos y modelos de los Sistemas de Protección Integral contra Descargas Atmosféricas y Sobretensiones para equipos electrónicos sensibles.

Segundo Capítulo: Modelos de protección contra sobretensiones en equipos electrónicos sensibles. Determinación de los posibles cambios a realizar en el sistema de protección.

Tercer Capítulo: Comprobación de los resultados obtenidos y comparación con el escenario previo al cambio.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

Los equipos electrónicos modernos son cada vez más sensibles a las afectaciones eléctricas producidas por sobretensiones u otros tipos de fenómenos electromagnéticos, por lo que para su protección es necesario desarrollar métodos de proyectos y analizar adecuadamente el sistema de puesta a tierra, donde el objetivo es mantener el menor potencial a tierra posible tanto en condiciones de operación como en algún tipo de falla ya que cualquier elemento o estructura de superficie metálica, accesible al contacto del personal, que esté energizada puede provocar daños no deseados. Un buen sistema de protección no solo debe tener en cuenta un bajo valor de impedancia sino también es necesario que su producto por la corriente de falla cumpla con los niveles de tensión de operación de la instalación.

1.1. Definición de Puesta a tierra

Antes de exponer definiciones, es importante notar que en Europa se tiende a usar el término «*earthing*», mientras que en Norte América es más común el término «*grounding*».

En la bibliografía consultada para realizar este trabajo se encontraron dos definiciones de puesta a tierra, las cuales se mencionan a continuación:

Un conjunto de uno o más electrodos metálicos desnudos, enterrados en el terreno e interconectados eléctricamente entre sí, cuyo objetivo principal es proporcionar un contacto eléctrico conductivo entre tierra y otros elementos metálicos que se encuentran en una instalación sobre el terreno o en el mismo terreno.

Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra. (referencia IEEE)

1.2. Objetivos de una puesta a tierra

El principal objetivo de un sistema de puesta a tierra es la seguridad de vida de todos los operarios de la instalación, pero también deberá ocupar un área tal que abarque todos los elementos de la instalación que puedan adquirir potenciales

peligrosos al ocurrir un drenaje de corriente. Además, los elementos de la puesta a tierra deben estar dispuestos de manera que se cumpla con los requerimientos de seguridad para las personas que trabajan o transitan en su interior o contorno y realizar las acciones necesarias para disminuir estos riesgos de daño a un mínimo, considerando aspectos de costo y beneficio.

Los principales objetivos de una puesta a tierra son:

- ✓ Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- ✓ Conducir de forma eficiente hacia tierra las descargas atmosféricas, limitando las diferencias de potencial que pudieran presentarse en la instalación.
- ✓ Proporcionar una plataforma equipotencial sobre la cual pueda operar el equipo electrónico o eléctrico.

1.3. Componentes básicos de un sistema de puesta a tierra

Electrodo: es un conductor utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, en este caso tierra.

- Electrodo del sistema de potencia: Es el encargado de conectar a tierra todos los conductores de tierra de la instalación, indirectamente se conectarán a este electrodo: equipos, transformadores, canalizadores, neutro del sistema, etc.
- Electrodo del sistema de protección ante descargas atmosféricas: Es el encargado de drenar a tierra toda o gran parte de la corriente proveniente de la descarga y así disminuir la intensidad que circula por el electrodo del sistema de potencia.
- Línea de enlace: Es el conductor que interconecta los distintos electrodos del sistema de puesta a tierra directa o indirectamente. Esto se realiza para garantizar la equipotencialidad.
- Pararrayos: Es un dispositivo cuyo objetivo es atraer un rayo y canalizar la descarga eléctrica hacia tierra, de modo tal que no cause daños a construcciones o personas.

- Descargadores de sobretensión: son los encargados de llevar a tierra las sobretensiones y así disminuir la magnitud de éstas y su efecto sobre los equipos.
- Barras equipotenciales: son barras colectoras en las cuales se conecta todo lo que vaya a tierra. Esta puede ser:
 - 1) MGB o Barra maestra de tierra: Es la primera barra colectora que ve el sistema de puesta a tierra, que se encarga de conectar las líneas principales de tierra de la instalación y el electrodo de puesta a tierra. A dicha barra se le conecta equipos eléctricos de gran importancia y las FGB.
 - 2) FGB o barra secundaria de tierra: Es la barra por medio la cual se derivan las conexiones a tierra hacia los distintos equipos que se encuentran en la instalación.
- Línea principal de tierra: Es la que une las barras FGB con las MGB.

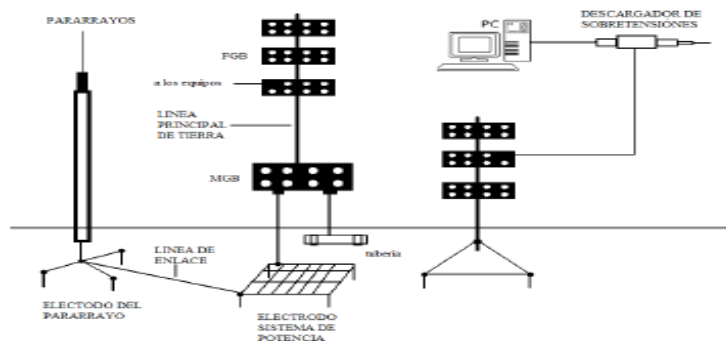


Figura 1.1 Esquema de conexión de componentes básicos de un sistema de puesta a tierra.

1.4. Clasificación de la puesta a tierra

Las puestas a tierra se clasifican según la función que realizan en:

- De protección: Es la que conecta conductivamente los elementos metálicos expuestos de una instalación, aquellos elementos conductores,

normalmente sin tensión (carcasas, tuberías, crucetas, etc.) pero que pueden eventualmente adquirir un potencial respecto tierra al producirse una falla en la instalación.

- De operación y funcionamiento: Para el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos y de algunos de sus componentes es necesario en muchas ocasiones establecer una conexión a tierra en determinados puntos. Ejemplos de este tipo de puesta a tierra son la conexión a tierra del neutro de los generadores y de los transformadores conectados en estrella, la conexión a tierra de los pararrayos, cables protectores, supresores de sobretensión en instalaciones de bajo voltaje, etc.
- De servicio: En los trabajos de reparación y mantenimiento de muchas instalaciones es necesario conectar a tierra temporalmente las partes normalmente energizadas a fin de evitar accidentes debido a la reconexión indebida de la misma o a las tensiones inducidas por sistemas energizados cercanos.

1.5. Partes de sistema completo de puesta a tierra

- Tierra física
- Tierra del circuito
- Tierra del equipo
- Tierra aislada
- Tierra de referencia de señal

Tierra física: Conocida también como sistema de electrodos de tierra, es la conexión física entre un sistema eléctrico y un sistema de electrodos de tierra. El sistema electrodo de tierra o tierra física generalmente consiste en una varilla, pica, tubería, placa u otro electrodo apropiado, el cual debe tener contacto directo con el terreno. Para entenderlo mejor es un sistema que se instala bajo tierra pero que se encuentra relacionado directamente con las partes eléctricas existentes por encima del terreno.

Tierra del circuito: Se denomina así al conductor de tierra que está conectado entre el equipo y la tierra física, el cual tiene como función transportar la corriente

Comentado [P1]: Puedes insertar aquí figuras que ilustren lo que estas describiendo

de falla cedida por el conductor de tierra del equipo en caso de que se genere un cortocircuito o falla a tierra. Este conductor debe estar en la capacidad de transportar las corrientes de falla de todos los equipos que comprenden el circuito.

Tierra del equipo: Se conoce también como cable de tierra de seguridad y está destinado a la protección de las personas y los equipos en caso de fallas o cortocircuitos. Este interconecta todas las partes metálicas de los equipos, que normalmente no conducen ninguna corriente y así permite mantenerlos en un plano equipotencial o referencia cero.

Tierra aislada: Este sistema aislado brinda una tierra libre de ruido eléctrico, utilizado frecuentemente para equipos electrónicos muy sensibles, se usa especialmente en salas de cómputo, equipos sofisticados de telecomunicaciones y salas de supervisión y control de señales; también se lo denomina tierra dedicada y no es utilizado comúnmente. La aplicación de este sistema de tierra aislada ha causado complicaciones y problemas en la implantación de sistemas de tierra porque el tratamiento dado, es aplicarlo como un sistema de tierra separado de la tierra del edificio.

Tierra de referencia de señal: Se denomina así al sistema de referencia cero para todos los equipos de señal digital. El objeto de esta referencia es brindar una tierra sin contaminación, separada de la tierra del equipo, esta tierra es conocida con varios nombres: tierra de señal, tierra de ruido o tierra electrónica. La conexión del conductor neutro a tierra debe ser sólo en el tablero principal de distribución o en el secundario de un sistema derivado separadamente.

1.6. Definición de Equipo Electrónico Sensible

La definición más acertada sobre los Equipos Electrónicos Sensibles (EES) es aquella que conduce a aceptar el alto porcentaje de daño que pueden sufrir estas unidades debido a distintas manifestaciones inherentes al mismo Sistema Eléctrico de Potencia tales como: electrostática, corrientes y voltajes inducidos por descargas atmosféricas o fenómenos transitorios, recordando que las fallas por descargas atmosféricas, (por ejemplo, en líneas de transmisión llegan a registrar porcentajes muy elevados, así como también por un inadecuado diseño e instalación del sistema

de tierra, presentando un grave problema de pérdidas para los usuarios y de la calidad de la energía para la compañía suministradora.

Los equipos electrónicos sensibles más comunes son computadoras, servidores, equipos de control de antenas parabólicas, sistemas de telefonía, controladores lógicos programables (PLC) entre otros, todos pertenecen a los procesos y sistemas de control en plantas, cuya característica más relevante es el alto costo en el mercado, además de ser primordiales en los procesos, tanto a nivel industrial, comercial o administrativo, como a nivel personal o familiar.

La puesta a tierra para los equipos electrónicos sensibles, además de utilizarse para protección contra sobretensiones, también puede evitar la contaminación con señales de frecuencias diferentes a la deseada, esto se logra mediante blindajes de todo tipo, conectados a una referencia cero o tierra de referencia. Así evitaríamos ruidos o interferencias que luego se traducen en daños al equipamiento.

1.7. Puesta a tierra para sitios de telecomunicaciones

En un sitio de telecomunicaciones el método aconsejable para efectuar una puesta a tierra efectiva es la utilización del concepto "Punto único de Conexión a Tierra". El método punto único de conexión a tierra se consigue conectando todos los elementos de tierra en un punto común, el cual se conoce como "Barra Principal de Tierra". Todos los sitios de telecomunicaciones y el equipo electrónico siempre están relacionados con la tierra por medio del acoplamiento capacitivo, contactos accidentales o conexiones intencionales. Por tal motivo, la conexión a tierra debe estudiarse como un sistema total, con varios subsistemas que forman el sistema de puesta a tierra del sitio.

1.8. Subsistemas

El sistema a tierra de un sitio de telecomunicaciones consta de varios subsistemas que se identifican como:

- Subsistema de Tierra Exterior
- Subsistema de Tierra Interior

Subsistema de tierra exterior: En sitios con antenas de radio, el objetivo de la

conexión a tierra es proveer una trayectoria con la impedancia más baja posible, desde las antenas y la torre, a tierra. La tierra externa del edificio consiste comúnmente en un conjunto de electrodos horizontales enterrados en el área del edificio. Se interconectan y se mejoran aumentando electrodos de tierra de tipo vertical, todos los blindajes de las líneas de transmisión de RF y equipos de entrada se conectan a tierra.

Subsistema de tierra interior: Es indispensable que el sistema interno tenga una trayectoria de baja impedancia a tierra y que consiga una mínima diferencia de potencial entre las estructuras conductoras del sitio, mientras elimina o minimiza cualquier flujo de sobrecorriente a través del equipo. Las conexiones internas se efectúan a una barra de cobre sobre aisladores, llamada barra principal de tierra (MGB), que brinda un punto de baja resistencia para todas las tierras internas.

1.9. Sobre tensiones

Las sobre tensiones producidas por falla se propagan, en general, en forma de ondas de alta frecuencia con amortiguación rápida. En los sistemas eléctricos se pueden presentar dos tipos de sobre tensiones según su origen, las de origen interno y las de origen externo. Las sobre tensiones de origen interno son producto de fallos y operaciones en el sistema, y su magnitud depende de la cantidad de energía atrapada en el campo magnético y electrostático de la línea, dependiendo por lo tanto, de los parámetros de la línea. Las sobre tensiones de origen externo son producidas por las descargas atmosféricas, las cuales al incidir en una línea o cerca de ésta dan lugar a ondas viajeras que se transmiten a lo largo de la misma. Si la magnitud de ambas sobre tensiones es superior a la tensión establecida por el nivel básico del aislamiento entonces se producirá un fallo en el aislamiento con la posterior interrupción del servicio y daño del equipamiento.

Las sobre tensiones internas más peligrosas para el aislamiento del sistema son aquellas asociadas a procesos transitorios, en los cuales se pueden presentar con magnitudes de varias veces el valor pico de la onda de tensión a frecuencia de potencia, que normalmente es alcanzado en tiempos para los cuales se presenta el

Comentado [P2]: Al final te pongo algo en portugués para que tengas una idea de esto de las sobre tensiones

nivel más bajo en la tensión de ruptura del aislamiento, fundamentalmente para sobretensiones de polaridad positiva.

Los factores principales que inciden en la magnitud de las sobretensiones internas y que por lo tanto, determinan el nivel de aislamiento son:

1. Características de aterramiento.
2. Condiciones de estado estable de la línea previo al cambio.
3. Parámetros de la línea.
4. Características de los sistemas de interrupción.
5. Posibilidad de resonancia
6. Posibilidad de operaciones incorrectas con las cargas reactivas.

1.10. Descargas Atmosféricas

La carga acumulada en la base de la nube produce un campo eléctrico intenso entre la propia nube y la superficie de la tierra y el campo electrostático induce una carga positiva en la superficie de la Tierra. Por períodos muy cortos de tiempo, la situación opuesta puede suceder, pero la carga positiva en la superficie de la tierra predomina y los efectos secundarios, independientemente de la polaridad de una descarga, son los mismos. Cuando se incrementa la actividad y el campo electrostático alcanza un potencial cercano a 10^8 volts/m con alto nivel de corriente hasta 200 kA y poco más, el dieléctrico (aire) se degrada y se comienzan a formar canales conductivos, que van desde la batería electrostática hacia la superficie de la tierra. Si uno de estos canales alcanza la tierra, se produce un “cortocircuito” entre la batería y la tierra, a lo que los científicos llaman un “flash”. Comienza entonces el proceso de neutralización de cargas y con ello los efectos secundarios de la descarga como problemas con los equipos electrónicos.

Las descargas atmosféricas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas. Pero, aún sin la

descarga, una nube cargada electrostáticamente crea diferencias de potencial en la tierra directamente debajo de ella.

La decisión de instalar un sistema de protección contra descargas atmosféricas, depende de factores como la probabilidad de caída de rayos en el sector además de la gravedad y las consecuencias para con las personas y equipos. Todos los sistemas tienen que estar apoyados por un buen sistema de puesta a tierra, para la evacuación de la corriente generada por el rayo, así como una adecuada equipotencialidad entre todos los sistemas de tierra, tanto de los sistemas de protección como de los circuitos eléctricos y de telecomunicaciones del área a proteger.

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero la energía puede ser desviada en una forma controlada. El intentar proteger contra descargas directas puede ser excesivamente caro.

1.11. Zonas de Protección contra Descargas Atmosféricas

El equipamiento a ser protegido debe dividirse por zonas de protección contra descargas atmosféricas (*Lightning Protection Zones*, LPZ). Las cuales están definidas por apantallamiento de estructuras, cuartos protegidos y dispositivos que utilizan estructuras de metal. Las zonas se caracterizan por cambios de las condiciones electromagnéticas de sus bordes.

Las LPZ se definen como:

- LPZ 0A: Zonas donde el equipo se ve sujeto a impactos directos de descargas atmosféricas y por consiguiente debe soportar toda la corriente proveniente de estas. Se experimenta un campo electromagnético sin atenuación alguna.
- LPZ 0B: Zona donde el equipo no se ve sujeto al impacto directo de la descarga atmosférica, pero igualmente experimenta un campo magnético sin atenuación alguna.
- LPZ 1: Zona donde el equipo no se ve sujeto a los impactos directos de las descargas atmosféricas y donde por consiguiente las corrientes en todas las partes

capaces de conducir dentro de esta zona, son atenuadas. En esta zona el campo magnético también podría atenuarse dependiendo de las medidas de apantallamiento (entre los que cabe mencionar “bonding”).

- ZONAS SUBSECUENTES (LPZ 2, LPZ 3...): Si se quiere una mayor reducción de las corrientes a ser conducidas o del campo magnético a ser experimentado, se deben introducir más zonas de protección. El requerimiento de esas zonas debe ser seleccionado de acuerdo a las zonas ambientales requeridas por el sistema a ser protegido.

De manera general, mientras más zonas se tengan, menores las magnitudes de las corrientes a ser conducidas e intensidades de los campos magnéticos a los que se ven expuestos los equipos electrónicos sensibles. Los límites entre las zonas LPZ 0A y LPZ 0B se determinan por medio del método de las esferas rodantes. El número y la calidad de las zonas internas LPZ 1 y las siguientes se deben establecer de acuerdo a la fuente de interferencia producida por la descarga atmosférica la cual se corresponde con el nivel de protección seleccionado y de acuerdo al nivel de inmunidad de los dispositivos electrónicos o de los sistemas hacia las interferencias producidas por las descargas atmosféricas.

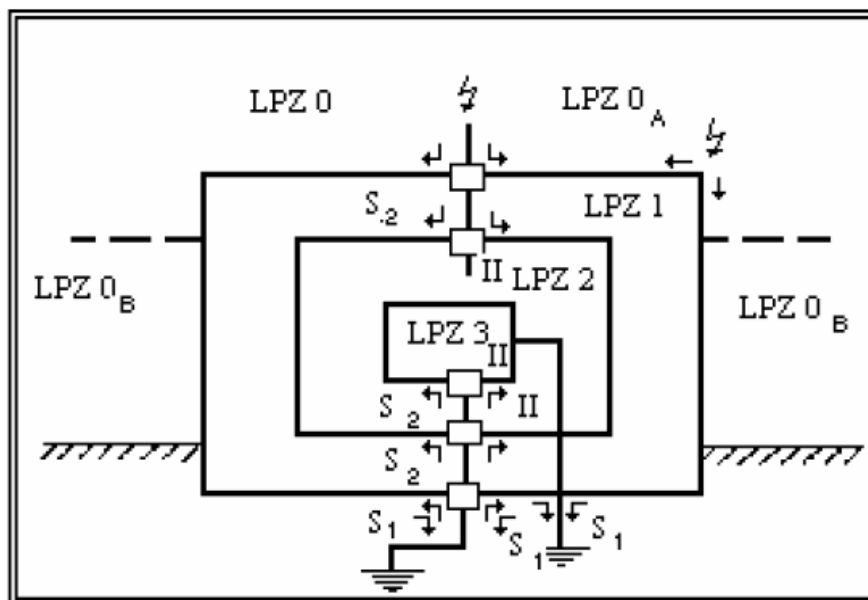


Figura 1.2 Esquema de zona de protección

Para los equipos electrónicos sensibles, el apantallamiento consiste y está formado por esquemas tales como barreras conductoras contra altas frecuencias que se encuentran puestas a tierra, recintos de metal, conductos de metal y recubrimientos para los cables alrededor de los circuitos sensitivos. El principal objetivo del blindaje electromagnético es minimizar el acoplamiento del flujo magnético (inductancia mutua) desde una fuente (potencia) hasta el circuito sensitivo (por ejemplo, circuitos de control). Pero también resultan pertinentes:

- 1) Minimizar el área del circuito sensitivo para reducir el número de líneas de flujo interceptadas desde la fuente.
- 2) Minimizar la inductancia mutua mediante la separación física de la fuente y del circuito sensitivo. Una medida igualmente efectiva, está representada por la colocación de los cables de señales apantallados en ductos de metal
- 3) Utilizar pares de cables entrelazados en los circuitos sensitivos para aprovechar que la mitad de las líneas de flujo magnético se acoplan en un sentido y el resto de éstas lo hacen en el sentido contrario, lo cual resulta en un acoplamiento de flujos pequeños.
- 4) Acercar el espaciado entre los conductores de la fuente (circuito de potencia) de forma tal que éstos parezcan un solo conductor con corrientes iguales y en sentidos opuestos, lo que produce un campo magnético mínimo.

1.12. Sistema exterior de protección contra descargas atmosféricas(SEPDA)

Se denomina “protección exterior contra descargas atmosféricas” a la totalidad de dispositivos e instalaciones en el exterior, encima y adosados a la estructura que se ha de proteger, para captar y derivar la corriente de la descarga atmosférica a la instalación de puesta a tierra. La selección del tipo del SEPDA a ser instalado depende de una evaluación práctica donde se determine la vulnerabilidad de los equipos conectados a la edificación ante los efectos electromagnéticos asociados a las descargas atmosféricas

Tipos de sistemas exteriores de protección contra descargas atmosféricas

- SEPDA NATURAL: Donde las partes metálicas de la estructura son

consideradas como parte “natural” del SPDA (mallas metálicas cubriendo el espacio a ser protegido, tuberías suficientemente gruesas) las cuales fueron construidas por otra razón distinta a la de protección eléctrica.

- SEPDA ARTIFICIAL: Donde los elementos de metal son empleados únicamente con propósitos de protección contra descargas atmosféricas.
- SEPDA COMBINADO: Donde los elementos del SPDA artificial son adicionales al SEPDA natural.

1.13. Características de una Descarga Atmosférica

Alrededor del planeta tierra se forman cerca de 2000 tormentas eléctricas simultáneamente, la intensidad media mundial de la descarga de un rayo se estima en 20KA, aunque es normal que los rayos puedan alcanzar corrientes hasta de 200KA (con frecuencia alcanzan los 500KA) con una energía media dispersada por la tubería de descarga de 105 J/m. Varias organizaciones mundiales registran a diario la ocurrencia de rayos en áreas geográficas específicas y en todo el planeta. Los datos alcanzados indican que el salto del arco de un rayo destructivo puede tener un nivel de 30000 A, a un voltaje de 30 millones de voltios. Los sobrevoltajes transitorios inducidos por rayos en el sistema de alimentación pueden causar el mal funcionamiento del equipo o insertar datos errados.

1.14. Efectos Eléctricos

Las sobretensiones inducidas por las descargas atmosféricas se describen generalmente como “efectos secundarios” por lo que existen cuatro de ellos capaces de dañar directamente el aislamiento:

- Transitorios de corriente que viajan por la tierra.
- Transitorios atmosféricos.
- Pulsos electromagnéticos.
- Cargas eléctricas aisladas.

Transitorios de corriente que viajan por la tierra: Este proceso se acompaña de movimiento de cargas desde el sitio donde ocurrió la descarga hasta el punto donde

se ha neutralizado completamente (final de la descarga). El resultado es un voltaje inducido en dicho conductor, proporcional a la cantidad de carga colectada.

Transitorios atmosféricos: Son el resultado directo del campo electrostático variante que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido por encima de la superficie de la tierra está inmerso dentro de este campo electrostático y se cargará a un cierto potencial, dependiendo de su altitud. Cuando ocurre la descarga, la carga almacenada en el conductor buscará una ruta de descarga hacia tierra, por lo que cualquier equipo conectado a esta línea sufrirá las consecuencias.

Pulsos electromagnéticos: Es el resultado de campos magnéticos y eléctricos transitorios que se forman durante el flujo de corriente en el canal conductivo que produjo una descarga eléctrica. El voltaje inducido en cualquier conductor por este campo puede entonces tener una magnitud suficiente para ocasionar daños a equipos sensibles.

Cargas eléctricas aisladas: Se generan durante el proceso de la descarga cuando un objeto se encuentra aislado de la superficie de la tierra. Este mantiene la carga después del proceso de neutralización ya que no existe una ruta de descarga dentro de los 20 microsegundos que usualmente se requieren para el proceso de descarga, después de que las vecindades se han descargado. Entonces se producirá un “arqueamiento” entre el objeto aislado y la ruta de descarga más cercana.

1.15. Tipos de acoplamiento

Se conocen tres tipos de acoplamiento mediante los cuales las sobretensiones provenientes de las descargas atmosféricas pueden afectar los cables de datos o las telecomunicaciones:

Acoplamiento Resistivo: Cuando una descarga atmosférica impacta zonas cercanas a la instalación, ésta (la descarga) causa una elevación del potencial en las vecindades de esta instalación. El aumento del potencial en la tierra afecta los sistemas de puesta a tierra y se conduce hacia el interior de la instalación donde viaja a través del sistema eléctrico. Adicional a esto, cualquier cable que se encuentre interconectando la instalación afectada con cualquier otra edificación

provee un camino para que las corrientes afecten a esta edificación.

Acoplamiento Inductivo: El impacto de una descarga atmosférica sobre un conductor que forma parte del SPDA genera un gran impulso de energía electromagnética que puede ser absorbido por los cables internos de la edificación en forma de sobretensiones.

Acoplamiento Capacitivo: Los cables de las líneas de alta tensión generalmente están expuestos a los impactos de las descargas atmosféricas. Cuando una descarga atmosférica hace impacto sobre una de estas líneas, los dispositivos descargadores de sobretensiones disipan gran parte de la energía; sin embargo, una porción considerable viaja por las líneas de distribución y debido a las altas frecuencias asociadas a este fenómeno, se produce el acoplamiento capacitivo a través del transformador hacia los sistemas de potencia de las edificaciones, destruyendo cualquier equipo electrónico conectado a este sistema.

1.16. Dispositivos de Protección contra Sobretensiones

Los supresores de sobretensiones deben ser instalados tan cerca como sea posible a la entrada de los cables hacia el volumen a ser protegido y sobre todos los conductores activos para prevenir que la sobretensión principal penetre en las instalaciones de la estructura. Dentro del edificio, la aplicación descontrolada de los dispositivos pudiera provocar el mal funcionamiento o daño del sistema, especialmente cuando los supresores de sobrevoltajes o los SPDA internos de los equipos interfieren en el correcto funcionamiento de los supresores en la entrada de la instalación.

1.17. Medidas de protección para interconexiones de datos / telefonía / instrumentación entre estructuras

Cables de fibra óptica entre estructuras: Se pueden utilizar cables de fibra óptica totalmente aislados entre estructuras sin tener que tomar en cuenta mayores medidas de protección. Este es el método preferido para las interconexiones de datos y completa libertad en lo que a interferencia electromagnética se refiere.

Cables de conducción entre estructuras: Cables de cobre o de cualquier otro

material conductor entre estructuras, sin interconexiones al SPDA respectivo: Se requieren SPD en cada uno de los extremos de los cables, aunque, donde sea posible, la solución recomendada viene representada por la provisión de un “bonding” entre los sistemas de protección contra descargas atmosféricas de las dos estructuras y ubicación de los cables cerca de un ducto metálico.

Cables de cobre o cualquier otro tipo de material conductor entre estructuras con SPDA interconectado, formando una LPZ 1: Dependiendo del número de cables que pasen entre las estructuras, la protección puede estar representada por un ducto de unión para varios cables, o donde se tenga una gran cantidad de cables, como por ejemplo los casos de plantas de procesos químicos, el apantallamiento de los cables de instrumentación (si son interconectados al sistema de puesta a tierra en cada extremo) será generalmente suficiente, especialmente si la corriente se reparte entre los mismos.

1.18. ATPDraw

Para la simulación de este proyecto se utiliza como herramienta el software ATPDraw (*Alternative Transients Program*) que es un preprocesador gráfico del ATP-EMTP en la plataforma MS Windows en el cual se crea y edita circuitos eléctricos y electrónicos. Permite al usuario intuitivamente diseñar el circuito mediante símbolos gráficos con autodesignación de nodos, designar correctamente los valores de cada componente del modelo, compilar los resultados de manera rápida y eficiente con apoyo de una muestra gráfica y almacenar los resultados en un directorio independiente totalmente modificable.

Se especializa en proyectos eléctricos con una amplia biblioteca de componentes eléctricos y electrónicos totalmente ajustables y con tiempos y frecuencias variables. Soporta el modelado de circuitos múltiples que hace posible trabajar en más circuitos simultáneamente y copiar información entre ellos. Se emplea mayormente en redes eléctricas, sistemas de control automático y simulaciones digitales.

En este capítulo se expone todo el conocimiento necesario para la realización de este trabajo, acerca de sobretensiones producidas por fallas transitorias y

descargas atmosféricas, así como los métodos más eficientes para la protección de los equipos electrónicos sensibles en el Despacho Provincial de Villa Clara.

CAPÍTULO II Determinación de las posibles causas de fallas de los equipos de telecomunicaciones en el despacho provincial

En la actualidad basta con mirar por los alrededores para darse cuenta de la infinidad de equipos electrónicos complejos con que contamos. Esta complejidad de equipos trae consigo un sinnúmero de comodidades, pero también trae la desventaja de que son equipos extremadamente delicados, con alto grado de integración en los circuitos actuales. Esto los hace particularmente vulnerables a problemas eléctricos que anteriormente pasaban desapercibidos. Mediante la simulación de modelos eléctricos y electrónicos en el programa ATPDraw se pueden determinar las posibles causas de sobretensiones inyectadas al sistema debido a fallas transitorias o descargas atmosféricas. Complejas redes eléctricas y sistemas de control pueden diseñadas y controladas.

2.1. Interfaz de usuario del ATPDraw

Para la interfaz de usuario se utiliza un formato libre en su sintaxis, basado en palabras clave del contexto local (figura 2.1), y no requiere de formato fijo en su representación. A demás posee un panel de opciones con las funciones normalmente interactivas para el usuario (figura 2.3). Los iconos gráficos son compatibles con los componentes estándar, modelos y grupos (por defecto). Incluye un editor de iconos del vector gráfico con mejores capacidades de zoom y nuevas posibilidades para personalizar el icono sobre la base de las selecciones de fuente y color (figura 2.2). La página de características en el cuadro de diálogo del componente es modificable intuitivamente. La característica no lineal se puede plotear y copiar al portapapeles de Windows, utilidades compatibles con diferentes softwares que posean implementación de multimedia. El usuario puede especificar una variable de texto en lugar de un valor de datos como por ejemplo los valores exponenciales. Para la compilación de modelos utiliza la ruta C:\windows\system32\cmd.exe que es el símbolo del sistema (command prompt), el cual interpreta los comandos del software o sistema que se está aplicando mediante script (líneas de programación) directos a la base de programación de Windows (figura 2.4).

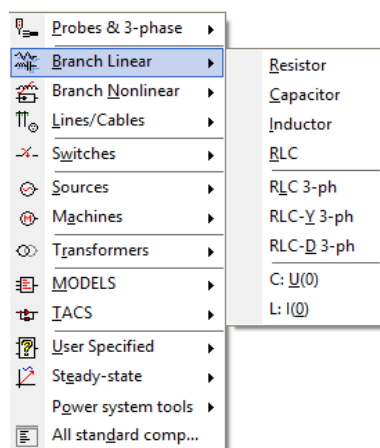


Figura 2.1 Inserción de elementos del modelo de simulación.

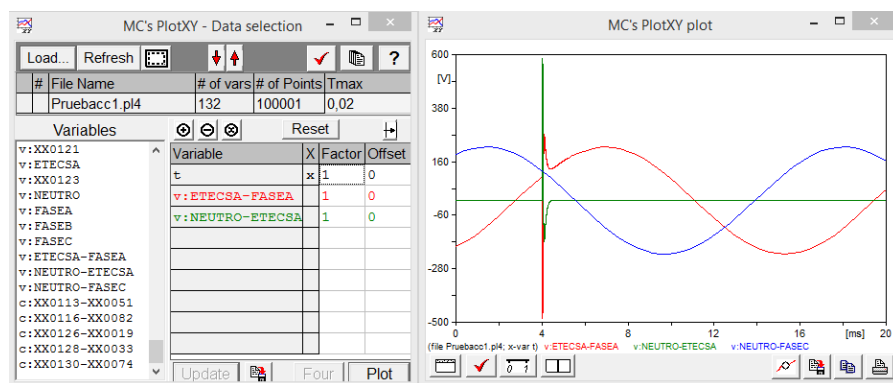


Figura 2.2 Procesador Gráfico.

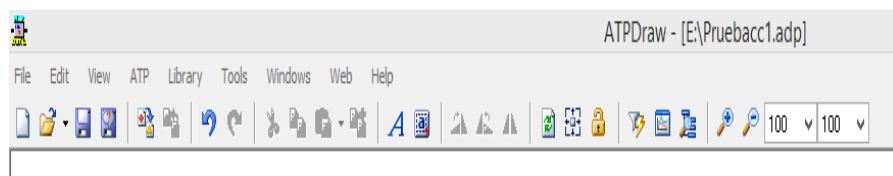


Figura 2.3 Barra de opciones.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Comment card. NUMDCD = 12. IC 345678901234567890123456789
01234567890123456789012345678901234567890
Comment card. NUMDCD = 13. IC < n1 > n2 >ref1>ref2> R
>> L >> C >
Comment card. NUMDCD = 14. IC < n1 > n2 >ref1>ref2> R
>> A >> B >>Leng>><>0
1.100E-04 9.045E+01 5.000E+07 9.045E+01 2.000E-07 -1XX0002XX0003 .00
011 90.45 5.E7 10.1 0
Series R-L-C. 2.881E+01 0.000E+00 0.000E+00 i XX0003 28.
812
Series R-L-C. 2.881E+01 0.000E+00 0.000E+00 i XX0002 28.
812
1.100E-04 9.045E+01 5.000E+07 9.045E+01 2.000E-07 -1XX0003XX0004 .00
011 90.45 5.E7 10.1 0
Series R-L-C. 2.881E+01 0.000E+00 0.000E+00 i XX0004 28.
812
Series R-L-C. 2.881E+01 0.000E+00 0.000E+00 i XX0003 28.
812
1.100E-04 9.045E+01 5.000E+07 9.045E+01 2.000E-07 -1XX0004XX0005 .00
011 90.45 5.E7 10.1 0
Series R-L-C. 2.881E+01 0.000E+00 0.000E+00 i XX0005 28.
812
Series R-L-C. 2.881E+01 0.000E+00 0.000E+00 i XX0004 28.
812

```

Figura 2.4 Commad prompt.

2.2. Modelación en ATPDraw

El ATPDraw tiene toda una serie de modelos de componentes en su biblioteca, para este trabajo se utilizaron las siguientes:

Fuente de corriente alterna.

Las fuentes equivalentes empleadas en la red son representadas por fuentes sinusoidales constantes, trifásicas y balanceadas, acopladas al sistema mediante parámetros impedancia de secuencia, siendo posible calcular las magnitudes de cortocircuito monofásico en cada zona correspondiente del compuesto de electrodos.

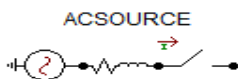


Figura 0.5 Componente Fuente AC

Se ajusta la fuente con valores como 110kV, 34.5kV, 13.2kV (en dependencia de la subestación) para la amplitud, con una frecuencia de 60Hz, un comienzo de -1s lo cual indica un estado estacionario (se está ejecutando antes de la simulación) y

se detiene a 100 s, tiempo suficiente que lo mantiene activo durante la modelación. Se le asigna un nodo debido a que por otro extremo conecta con tierra (figura 2.6).

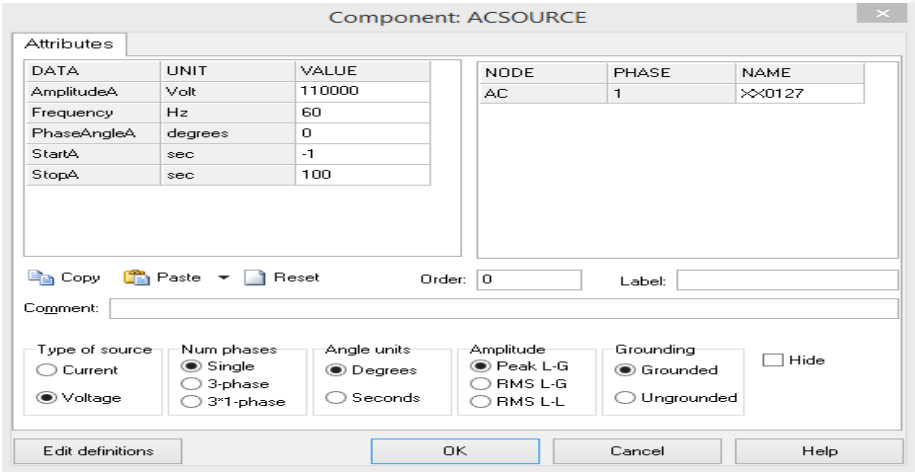


Figura 2.6 Ajuste de ACSOURCE

Fuente de Impulso

La Fuente de corriente que simula una descarga atmosférica admite valores de intensidad muy elevados con tiempos y magnitud variables. Permite ser localizada en varios puntos del modelo (figura 2.7).

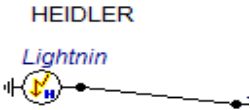


Figura 0.7 Componente Descarga Atmosférica.

Se configura con un valor distinto para cada reticulado debido a que para cada caso la corriente mínima que genera sobretensiones por encima de 400V es diferente. El tiempo de frente es de $1 * 10^{-6}$ para Intervalo entre $t = 0$ y el tiempo del pico de la función y una duración de $2 * 10^{-5}$ para que alcance el 37% de su valor máximo. Un número de máximos permisibles de 2 lo cual influye en la velocidad de la función. El tiempo de inicio es de 4 ms y de fin 4.05 ms.

Comentado [M3]: Insertar figura con la forma de onda del rayo

Component: HEIDLER

DATA	UNIT	VALUE
Amp		60000
T _f		1E-6
tau		2E-5
n		2
T _{sta}		0.004
T _{sto}		0.00405

NODE	PHASE	NAME
HEI	1	XX0130

Copy Paste Reset Order: 0 Label: Lightning

Comment:

Type of source
☒ Current ☐ Voltage ☐ Hide

Edit definitions OK Cancel Help

Figura 2.8 Ajuste de descarga atmosférica

Transformador trifásico de conexión Y-Δ

Transformador trifásico saturable de conexión Y-Δ con neutro aterrado, ajustable en todos sus parámetros de estado estable por cada devanado a una frecuencia variable.

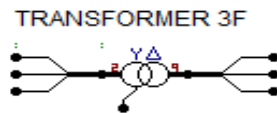


Figura 0.9 Componente transformador

Se ajustan todos los parámetros de impedancia, rama de magnetización, relación de transformación y características de saturación. Sostiene tres nodos, dos de ellos por los extremos con conexiones trifásicas y uno directo a tierra (NEUTRO)(figura 2.10)

Comentado [ab4]: No se que poner

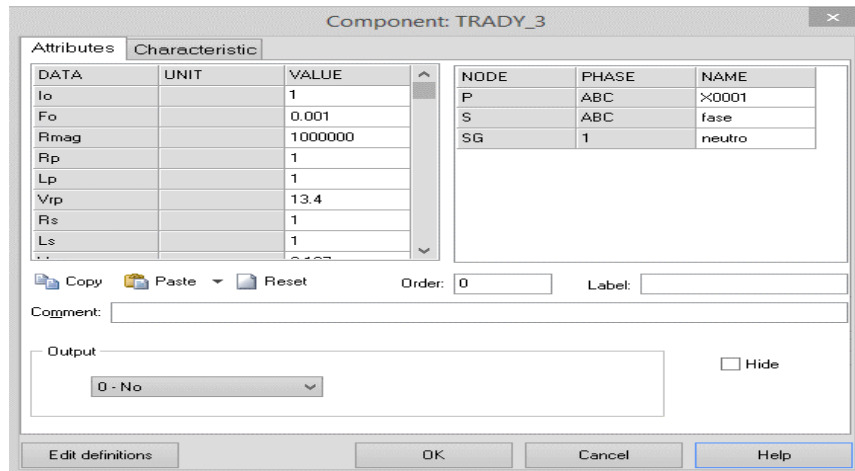


Figura 2.10 Ajuste de Transformador Trifásico

Electrodos horizontales.

Los sistemas de puesta a tierra están conformados por electrodos horizontales en forma de malla, cada electrodo tiene una configuración tipo π . La figura 2.11 muestra parte de una malla conformada por electrodos horizontales, compuestos por su configuración π .

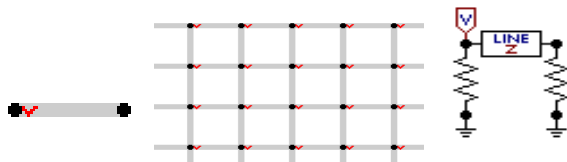


Figura 0.11. Componente electrodo

Interruptores

En el programa ATP existe varios modelos de interruptores como los controlados por tiempo o por Tensión, interruptores estadísticos, interruptores sistemáticos y de medición. Para los interruptores controlados por tiempo las maniobras de cierre y apertura son realizadas una única vez y son determinadas por el tiempo especificado por el usuario (figura).



Figura 2.12 Componente interruptor

Se le designa un tiempo de cierre y uno de apertura dada una maniobra manual y no automática por la simulación. Con características de maestro lo que implica que es independiente de cualquier otro tipo de interruptor. Sujeto de dos nodos lo que demuestra la conexión de dos elementos en el modelo.

Component: TSWITCH

DATA	UNIT	VALUE
T-cl		1
T-op		-1
Imar		0
3-ph		0

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0113
To	1	XX0051

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Output

1 - Current

Hide

Edit definitions OK Cancel Help

Figura 2.13 A juste de interruptor

2.3. Esquema de simulación

Como se mencionó antes el Despacho provincial de Villa Clara se encuentra en un entorno electromagnético complejo al estar muy cerca de una subestación y un grupo electrógeno, cuyas mallas de tierra están interconectadas a la malla del despacho. El esquema de modelación está conformado por las mallas de tierra de la Subestación Santa Clara 110 \34.5 kV, el grupo electrógeno 13.2 kV, el despacho y la puesta a tierra independiente construida por ETECSA. El despacho se alimenta

de un banco trifásico Y- Δ , 13.8 kV/ 220-110 V. El cable de protección del local de telecomunicaciones sale de manera independiente de la malla de tierra de ETECSA.

Para la simulación se tendrán en cuenta los niveles de tensión resultante entre el neutro del transformador (NEUTRO) y las fases del mismo, así como cable de protección de ETECSA y Neutro y cable de protección y fases (figura 2.14). Todas las contingencias de fallas se analizarán para dos posibles condiciones de trabajo de la malla de ETECSA:

- Independiente (figura 2.15)
- Conectada a la malla del despacho (figura 2.16)

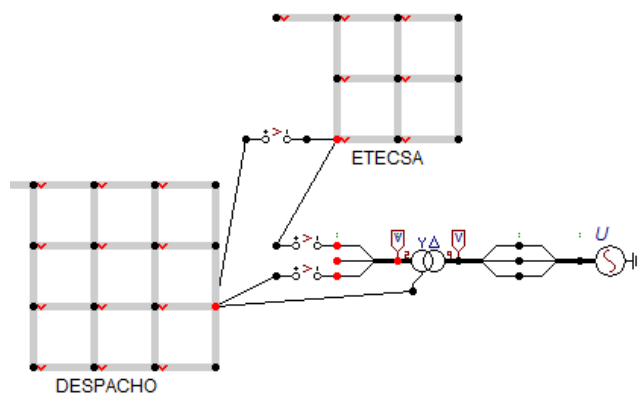


Figura 2.14 Puntos de medición

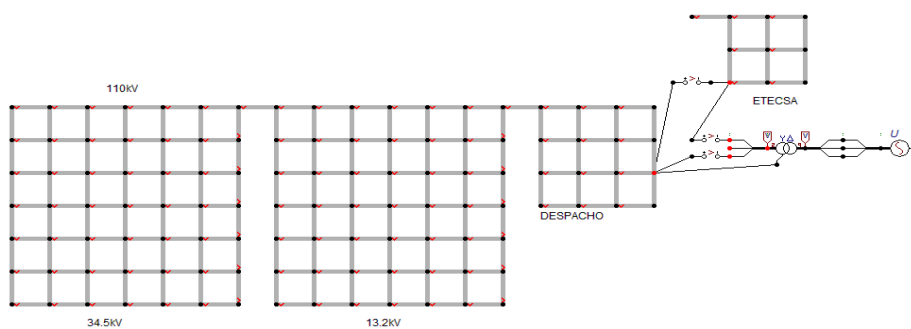


Figura 2.15 Modelo de mallas de puesta a tierra sin conexión de ETECSA

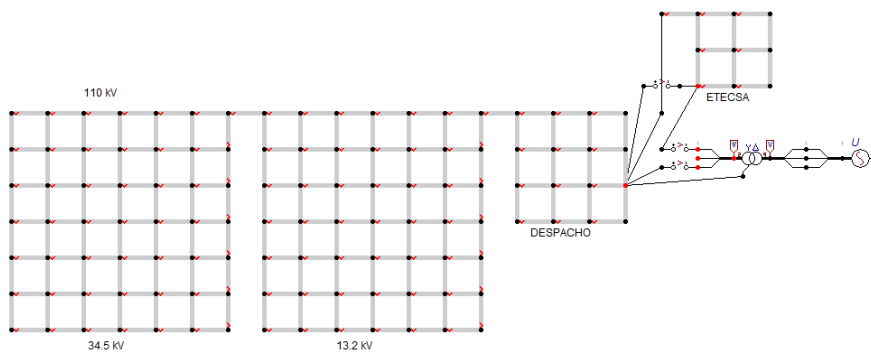


Figura 2.16 Modelo de mallas de puesta a tierra con conexión de ETECSA

Las posibles sobretensiones a que pueden quedar sometida las instalaciones del Despacho Provincial están dadas por:

- Cortocircuitos monofásicos
- Descargas atmosféricas

2.3.1. Falla monofásica

Como se mencionó anteriormente las tres veces que se han producido daños en los equipos de telecomunicaciones ha sido por cortocircuitos monofásicos en el banco de transformadores del despacho, además este tipo de falla es el que se presenta

con mayor frecuencia, por estas razones es que se seleccionó este tipo de falla para las modelaciones.

Como se conoce, el cálculo de estas sobretensiones se puede hacer mediante componentes simétricas, utilizando curvas que sugieren las normas o mediante herramientas de simulación.

Se incorpora al reticulado una fuente por cada instalación, con su valor de voltaje en kV y en el caso de la falla monofásica en el despacho se realiza una conexión entre el neutro y el lado de alta del transformador. Los MVAcc se determinaron con la ayuda del PSX, para cada lado de la subestación de 110\34.5 kV, al igual que para el grupo electrógeno y el banco de transformadores del Despacho. Luego mediante la ecuación $I_{CC} = \frac{MV_{Acc}}{\sqrt{3} * kV}$ se calcula la corriente de cortocircuito. Las modelaciones pretenden determinar los niveles de sobretensión que generan estas corrientes en el local de telecomunicaciones del Despacho.

Falla monofásica por 110 kV de la Subestación.

La subestación de 110\34.5 kV tiene un nivel de cortocircuito monofásico de 3349 MVA por el lado de 110 kV, lo que da una corriente de falla monofásica de 17.57 kA (anexo 2), aproximadamente. Es necesario analizar el nivel de sobretensiones que esta corriente genera entre cable de protección y neutro y entre cable de protección y fases en el local de telecomunicaciones, con la malla de ETECSA independiente (figura 2.17) y posteriormente con la malla de conectada a la malla del Despacho. (figura 2.18)





El Grupo Electrónico tiene un nivel de cortocircuito de 104 MVA para una corriente de cortocircuito de 4.48 kA (anexo 4). Las figuras 2.21 y 2.22 muestran los modelos para la malla de ETECSA independiente y desconectada respectivamente.

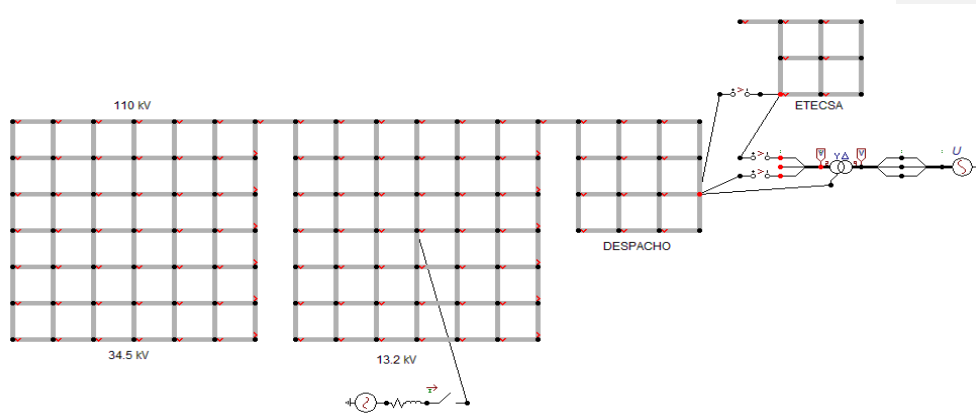


Figura 2.21 Modelo de falla monofásica en el grupo electrógeno sin conexión de ETECSA

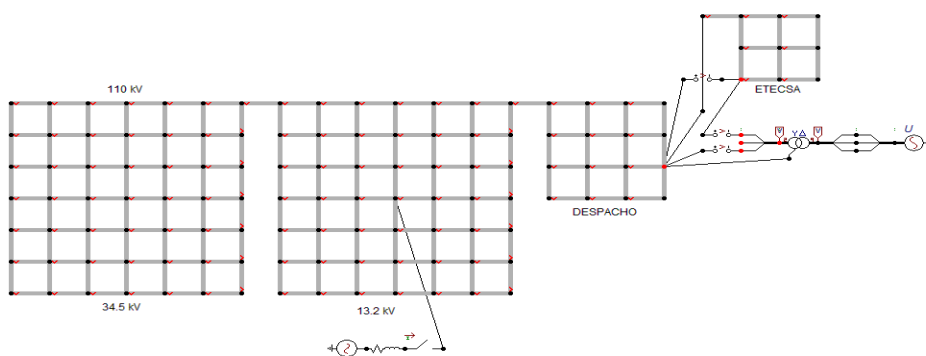


Figura 2.22 Modelo de falla monofásica en el grupo electrógeno con conexión de ETECSA

Falla Monofásica en el banco de Transformadores del Despacho

El banco de transformadores posee una relación de transformación 13.4/0.24-0.12 kV, por lo que al ocurrir una falla por alta provoca una corriente de cortocircuito de aproximadamente 1.37kA (anexo1). Se hace necesario analizar el comportamiento

con la malla de ETECSA desconectada (figura 2.23) y luego conectada (figura 2.24) para verificar que nivel de sobretensión provoca.

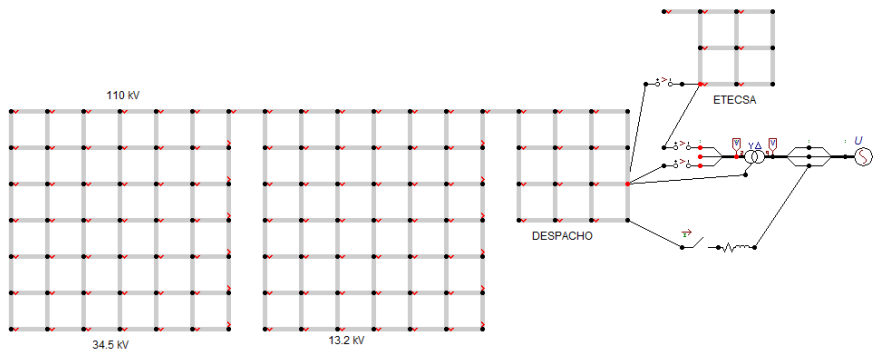


Figura 2.23 Modelo de simulación de falla monofásica en el banco de transformadores del Despacho sin conexión de la malla de ETECSA

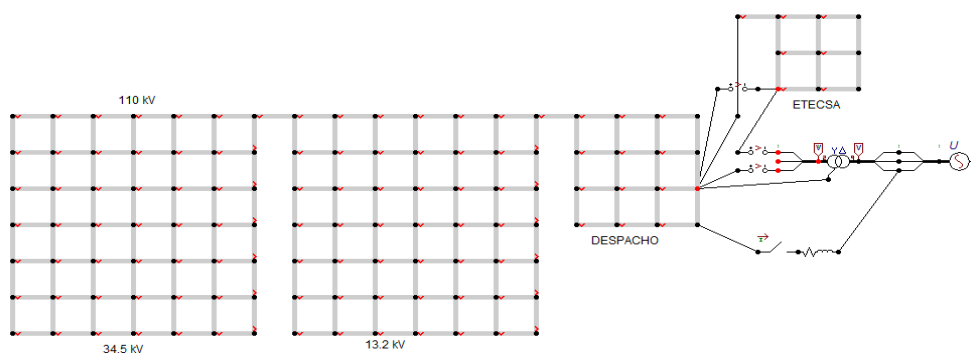


Figura 2.24 Modelo de simulación de falla monofásica en el banco de transformadores del Despacho con conexión de la malla de ETECSA

2.3.2. Descarga Atmosférica

Como ya se explicó anteriormente el objetivo de una protección contra descarga atmosférica es conducir la corriente a lo largo de un conductor de baja resistencia

con el fin de que no produzca elevados niveles de voltajes durante la descarga. Por lo que se debe iniciar con la colocación de un terminal aéreo de captación, seguido de un adecuado bajante a tierra y un sistema eficiente de electrodos de puesta a tierra.

Para la modelación se coloca una fuente de impulso en cada una de las mallas de la instalación para las dos condiciones de la malla de tierra de ETECSA independiente y conectada y se determina la menor magnitud de corriente de rayo que es capaz de generar sobretensiones en el local de telecomunicaciones superiores a 400 V (tensión suficiente para dañar equipos electrónicos sensibles). Se tiene en cuenta magnitudes desde 5 hasta 300 kA que aunque sea un valor de poca probabilidad de ocurrencia en cualquier no deja de ser un valor. Luego se determina la probabilidad de ocurrencia de estas magnitudes de corriente de rayo según la siguiente ecuación

$$P(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_r}{I_p}\right)^{2.6}}$$

en la cual como corriente promedio se asume 30 kA y como

corriente del rayo la mínima obtenida en la simulación, este resultado se da en por ciento.

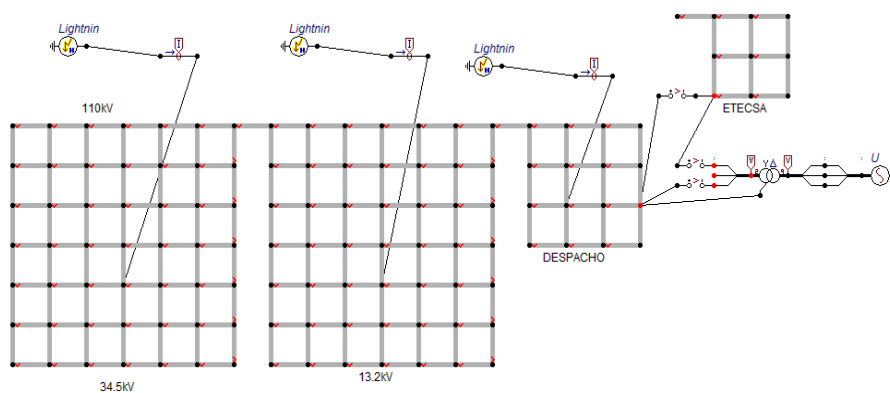


Figura 2.25 Modelo de descarga atmosférica sin conexión de la malla de ETECSA

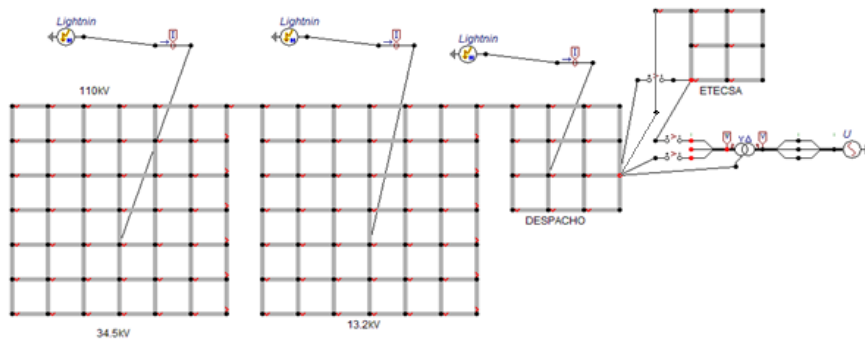


Figura 2.26 Modelo de descarga atmosférica con conexión de la malla de ETECSA

En este capítulo se presenta la metodología de modelación en el software ATPDraw, como también los modelos a implementar en la simulación de fallas monofásicas y descargas atmosféricas en el Despacho Provincial de Villa Clara.

Capítulo III. Análisis Crítico del Sistema de Puesta a Tierra diseñado por ETECSA

La situación actual del local de telecomunicaciones del Despacho Provincial de Villa Clara, donde los equipos electrónicos sensibles de telecomunicaciones se han visto afectados por sobretensiones provocadas por fallas monofásicas y pueden ser afectados también por descargas atmosféricas, esta última con un nivel muy alto de probabilidades de ocurrencia por la complejidad electromagnética del entorno del Despacho. Teniendo en cuenta que la malla construida por ETECSA se encuentra independiente del resto de las instalaciones, es necesario determinar los niveles de voltajes a los que se debe enfrentar el equipamiento de esta instalación. La afectación de este equipamiento ha provocado pérdidas económicas cuantiosas para la empresa ya que esta tecnología es de importación y muy cara

3.1 Falla Monofásica en el transformador del Despacho

La simulación de una falla monofásica por alta del transformador se realizó para las dos condiciones mencionadas, malla de ETECSA interconectada (figura 3.1) y desconectada (figura 3.2), obtienen lo siguiente:

Malla de tierra de ETECSA conectada: Se generan sobretensiones mayores de 1280 V entre el neutro y cable de protección y entre fase y cable de protección 1300V, mientras que entre neutro y las fases del transformador permanece perfectamente sinusoidal con un ligero aumento de tensión en las fases no falladas y la fase fallada se hace cero (figura 3.1).

Malla de tierra de ETECSA desconectada: Las tensiones aumentan a valores de 1720 V aproximadamente entre neutro y cable de protección, así como 1735 V entre las fases del transformador y cable de protección, no así entre neutro y las fases del transformador que permanece sinusoidal en las fases no falladas, aumentado ligeramente en magnitud y haciéndose cero la fase fallada (figura 3.2).

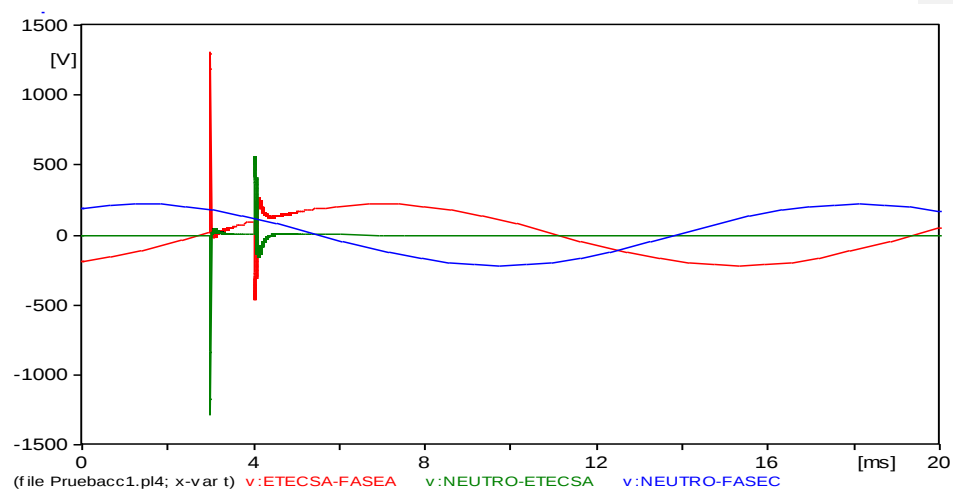


Figura 3.1 Modelación de una falla monofásica en el banco de transformadores con la malla de ETECSA conectada.

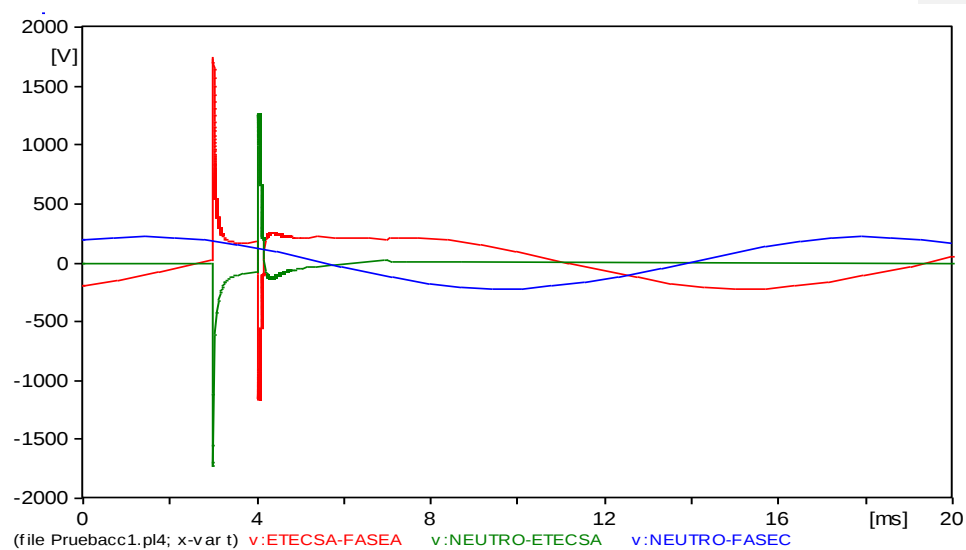


Figura 3.2 Modelación de una falla monofásica en el banco de transformadores con la malla de ETECSA desconectada.

3.2 Falla monofásica en la Subestación por el lado 110 kV

La falla monofásica en la subestación por el lado de 110 kV para la malla de ETECSA conectada (figura 3.3) y desconectada (figura 3.4) exponen los resultados siguientes:

Malla de tierra de ETECSA conectada: Se producen sobretensiones superiores aproximadamente a 570 V entre el neutro y cable de protección, así como 470 V entre las fases del transformador y cable de protección, mientras que entre el neutro y las fases del transformador permanece perfectamente sinusoidal sin distorsión alguna y con una amplitud de 220 V estable (figura 3.3).

Malla de tierra de ETECSA desconectada: Las tensiones incrementan aproximadamente a valores de 1620 V entre neutro y cable de protección, y de 1520 V entre las fases del transformador y cable de protección, no así entre neutro y las fases del transformador que permanece sinusoidal y de amplitud 220 V. (figura 3.4)

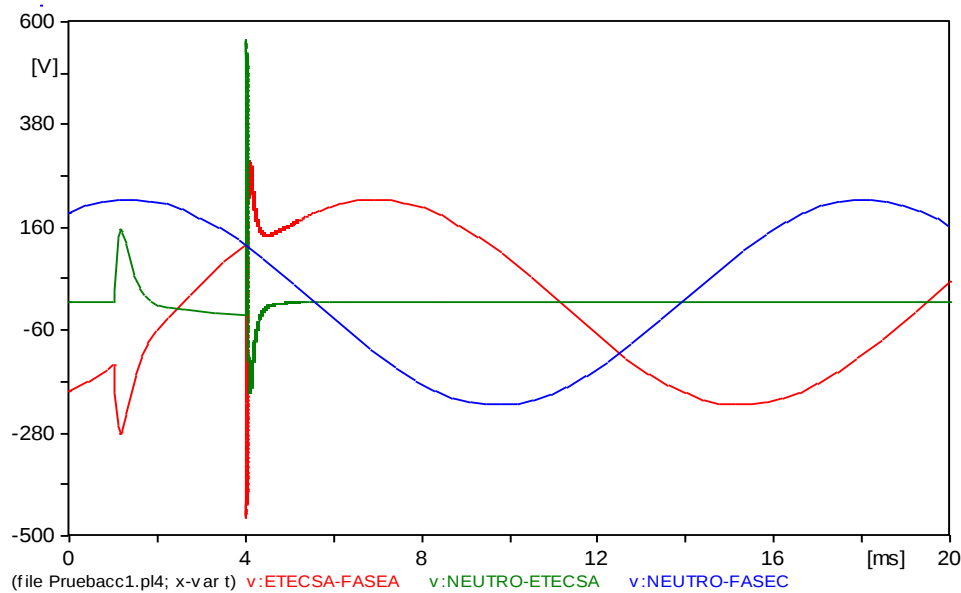


Figura 3.3 Modelación de una falla monofásica en la subestación por el lado de 110 kV con la malla de ETECSA conectada.

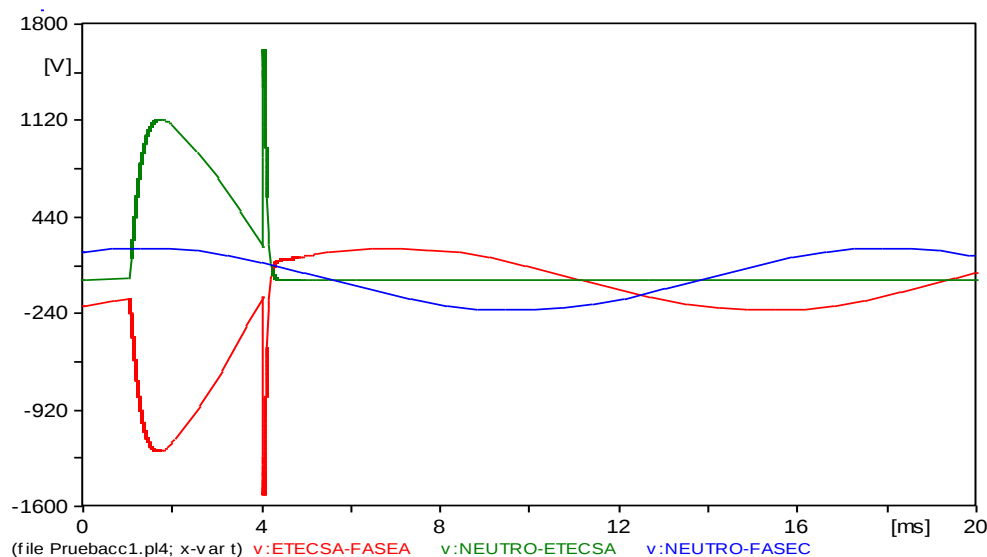


Figura 3.4 Modelación de una falla monofásica en la subestación por el lado de 110 kV con la malla de ETECSA desconectada.

3.3Falla monofásica en la subestación por el lado de 34.5 kV

Para la falla monofásica en la subestación por el lado de 34.5kV y la malla de tierra de ETECSA conectada (figura 3.5) y desconectada (figura3.6) del sistema de puesta a se obtienen los siguientes resultados.

Malla de tierra de ETECSA conectada: Provoca sobretensiones elevadas entre el neutro y cable de protección de aproximadamente 580 V y entre las fases del transformador y cable de protección 480 V, quedando entre el neutro y las fases del transformador una curva sinusoidal de amplitud 220 V (figura 3.5).

Malla de tierra de ETECSA desconectada: Las tensiones se elevan en dos picos considerables, entre las fases del transformador y cable de protección de 620 V y luego de 1410 V, mientras que entre cable de protección y el neutro asciende a 530 V y luego a 1510 V, no así para entre neutro y las fases del transformador que permanece sinusoidal y de amplitud 220 V (figura3.6).

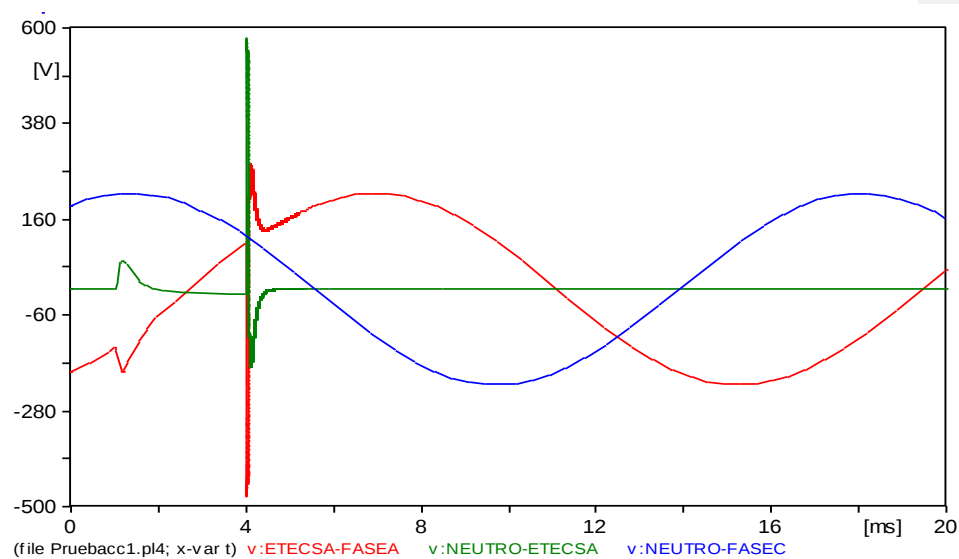


Figura 3.5 Modelación de una falla monofásica en la subestación por el lado de 34.5 kV con la malla de ETECSA conectada.

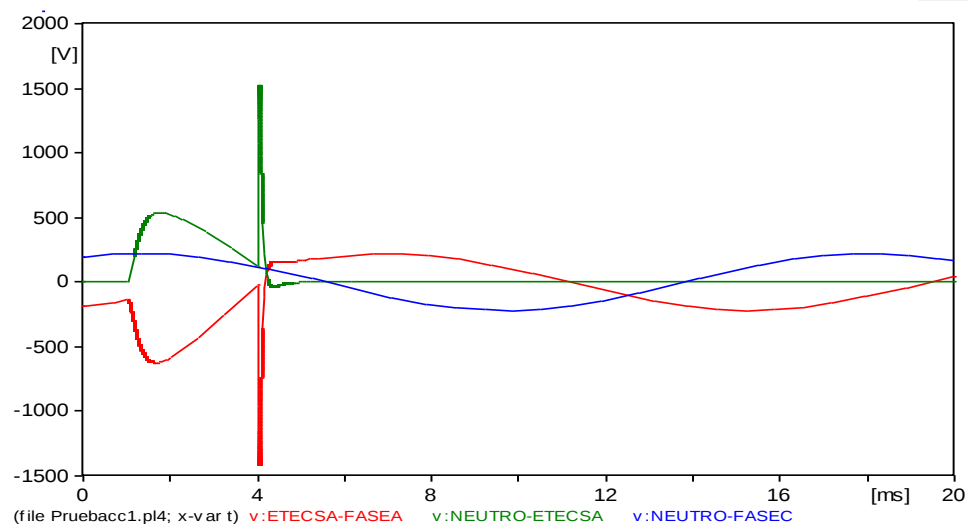


Figura 3.65 Modelación de una falla monofásica en la subestación por el lado de 34.5 kV con la malla de ETECSA desconectada.

3.4 Falla monofásica en el grupo electrógeno de 13.2 kV

Al simular una falla monofásica en el grupo electrógeno de 13.2kV asumiendo la conexión (figura 3.7) y desconexión (figura3.8) de la puesta a tierra de ETECSA se obtienen los resultados siguientes:

Malla de tierra de ETECSA conectada: Se generan sobretensiones de aproximadamente 575 V entre cable de protección y el neutro, así como 475 V entre cualquiera de las fases del transformador y cable de protección, mientras que entre el neutro y las fases del transformador permanece perfectamente sinusoidal sin distorsión alguna y con una amplitud de 220 V estable (figura 3.7).

Malla de tierra de ETECSA desconectada: Las tensiones crecen en dos máximos considerables, entre las fases del transformador y cable de protección un pico inicial 560 V y luego otro de 1300 V, mientras que entre protección y neutro incrementa a 435 V y luego a 1400 V, no así entre neutro y las fases del transformador que permanece sinusoidal y de amplitud 220 V (figura3.8).

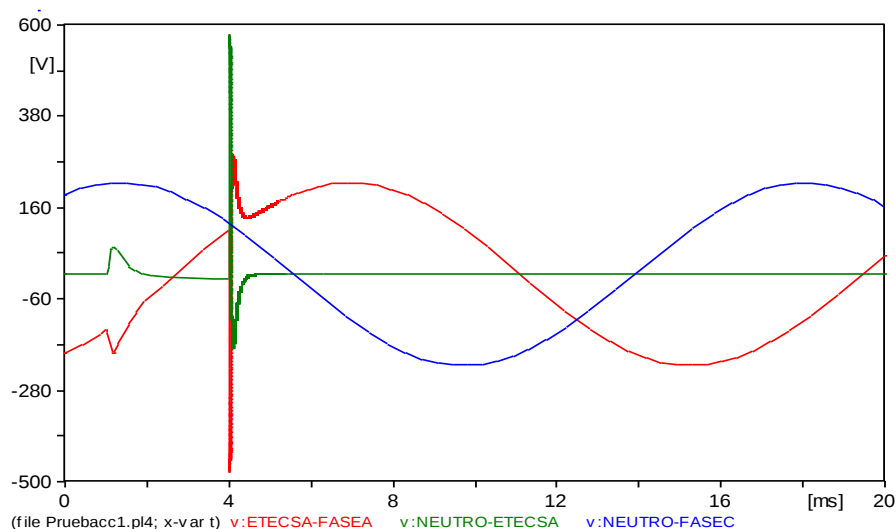


Figura 3.7 Modelación de una falla monofásica en el grupo electrógeno con la malla de ETECSA conectada

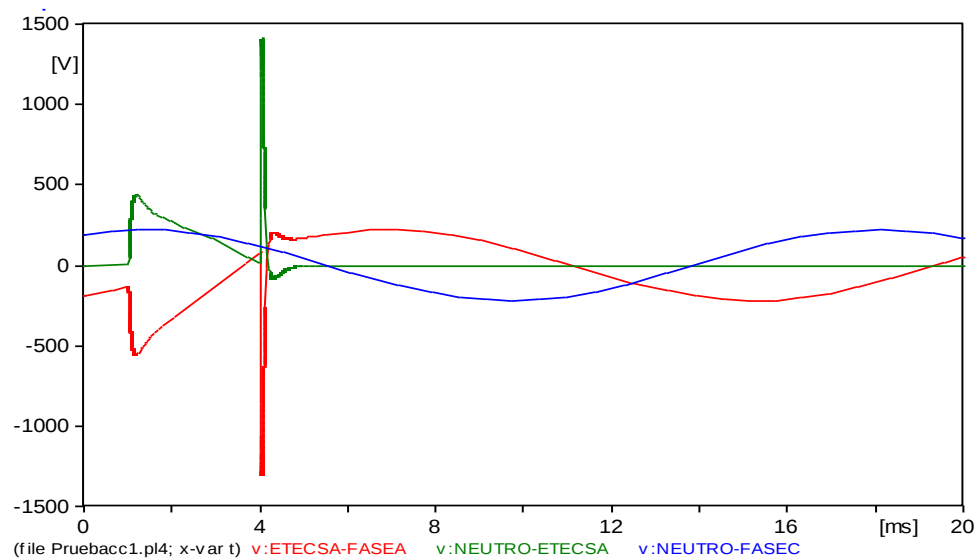


Figura 3.8 Modelación de una falla monofásica en el grupo electrógeno con la malla de ETECSA desconectada

Es importante hacer notar que en todos los casos analizados hasta aquí, con solo conectar la malla de tierra de ETECSA al resto del sistema se reducen notablemente las tensiones con respecto al cable de protección.

Por otra parte, aun cuando se conecte la malla de tierra de ETECSA al sistema las tensiones pueden ser suficientes para hacer fallar el equipamiento sensible de telecomunicaciones, por lo que esta conexión no es la solución del problema.

3.5 Descarga atmosférica en la subestación 110/34.5 kV

Mediante la simulación de una descarga atmosférica en la subestación de 110/34.5 kV para las dos condiciones con relación a malla de ETECSA se arriban a los siguientes resultados:

Malla de tierra de ETECSA conectada: En este caso ni con una descarga de 300 kA se obtiene entre neutro y cable de protección una tensión superior a 260 V y entre las fases de transformador y cable de protección solo una pequeña distorsión de la tensión. Entre el neutro y las fases del transformador permanece perfectamente sinusoidal sin distorsión alguna y con una amplitud de 220 V estable (figura 3.9).

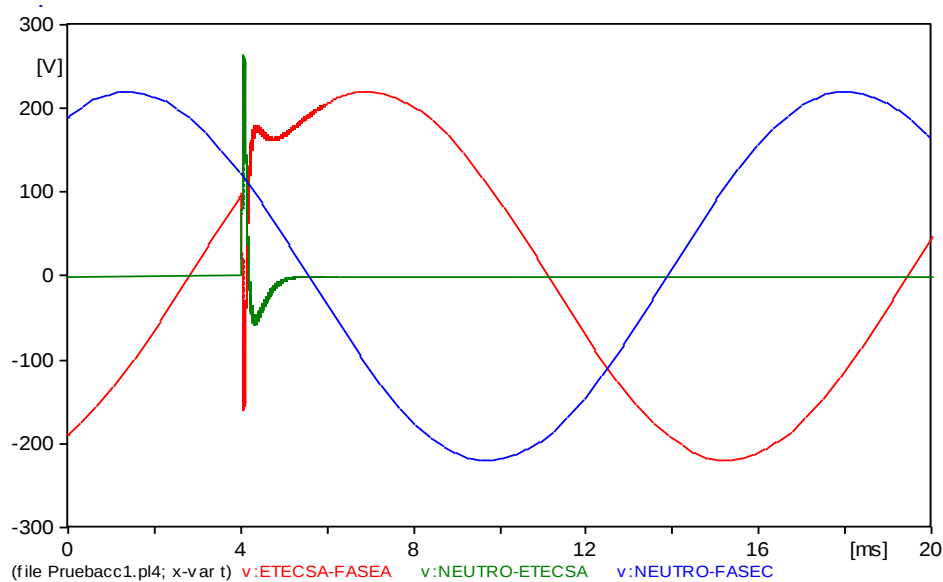


Figura 3.9 Modelación de descarga atmosférica en la subestación de 110\34.5kV con la malla de ETECSA conectada.

Malla de tierra de ETECSA desconectada: La intensidad mínima que provoca niveles de sobretensiones por encima de 400 V es de 120 kA (tiene un probabilidad de ocurrencia de un 2.6 %), donde la tensión entre el neutro y cable de protección

alcanza 490 V y entre cable de protección y las fases del transformador de 380 V, al contrario, entre neutro y las fases del transformador se mantiene una senoide de amplitud 220 V (figura 3.10).

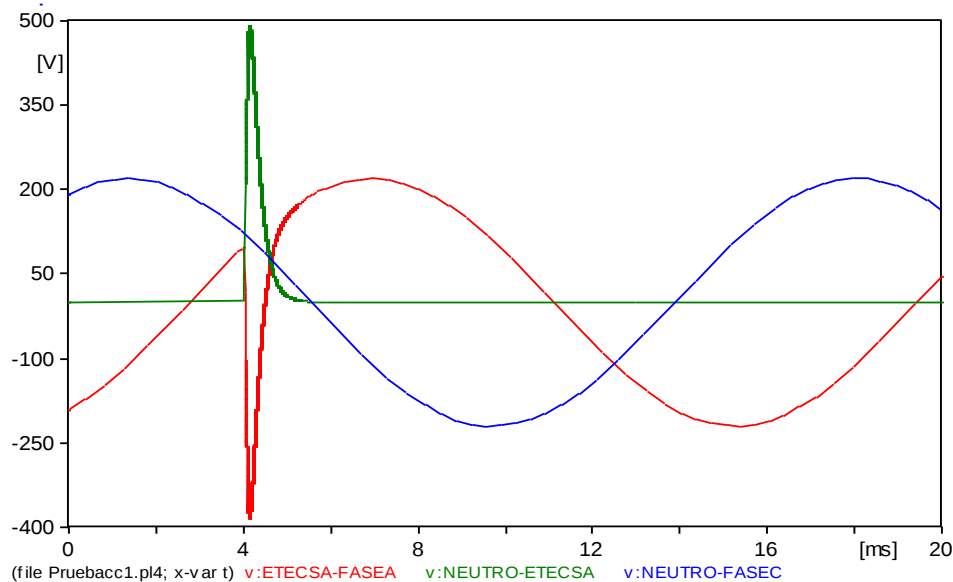


Figura 3.10 Modelación de descarga atmosférica en la subestación de 110\34.5 kV con la malla de ETECSA desconectada

3.6 Descarga atmosférica en el grupo electrógeno 13.2 kV

El impacto de una descarga atmosférica en el grupo electrógeno de 13.2 kV para las mismas dos condiciones da los siguientes resultados.

Malla de tierra de ETECSA conectada: La mínima corriente de rayo que genera sobretensiones superiores a 400 V es de 23kA (tiene una probabilidad de ocurrencia de un 74 %), la tensión entre el cable de protección y el neutro alcanza 540 V mientras que entre este y las fases del transformador llega a 440 V. Entre el neutro y las fases del transformador continúa sinusoidalmente sin distorsión y con una amplitud de 220 V (figura 3.11).

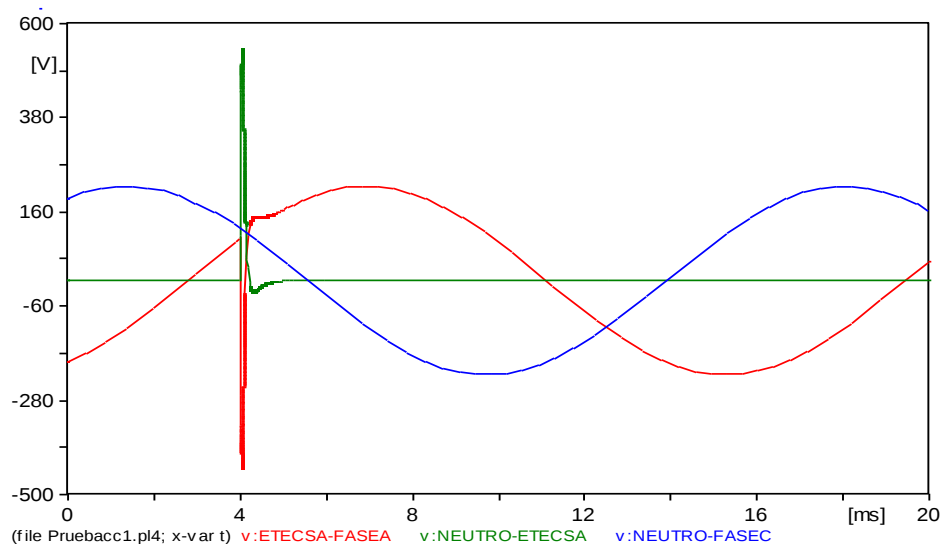


Figura 3.11 Modelación de una descarga atmosférica en el Grupo Electrónico de 13.2 kV con la malla de ETECSA conectada.

Malla de tierra de ETECSA desconectada: La intensidad de descarga mínima que genera niveles de sobretensiones por encima de 400 V es de 55 kA (tiene un probabilidad de ocurrencia de un 14.15 %). Para una tensión entre el neutro y el cable de protección de 540 V y entre este último y las fases del transformador llega a 440 V. Entre neutro y las fases del transformador se mantiene una senoide estable de amplitud 220 V (figura 3.12).

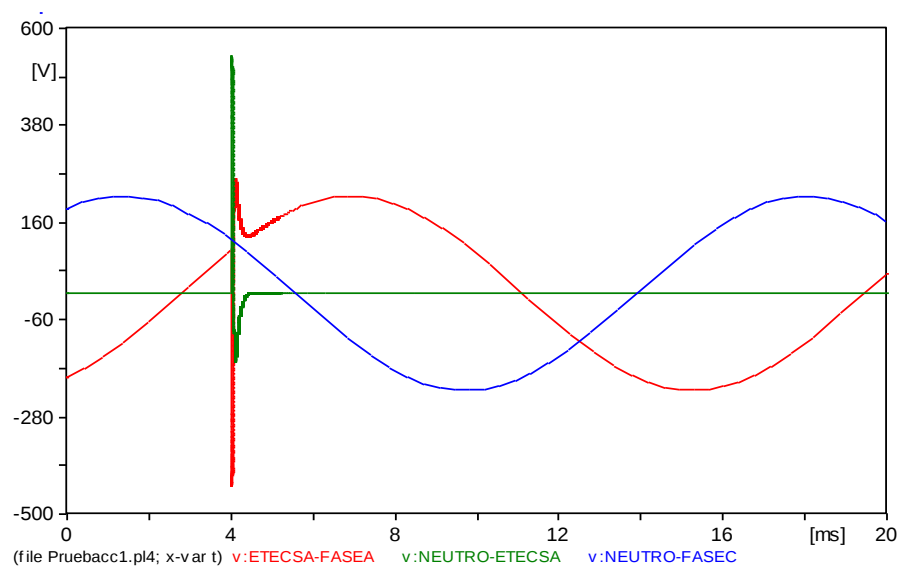


Figura 3.12 Modelación de descarga atmosférica en el grupo electrógeno 13.2kVsin conexión de la malla de ETECSA

3.7 Descarga atmosférica en el Despacho.

Para una descarga atmosférica en el Despacho se obtienen los resultados siguientes.

Malla de tierra de ETECSA conectada: En este caso una intensidad de descarga de 650 A, lo que significa que prácticamente cualquier descarga que impacte en el Despacho genera sobretensiones superiores a 400 V. La forma de onda entre el neutro y las fases del transformador se conserva sinusoidalmente sin distorsión y con una amplitud de 220 V (figura 3.13).

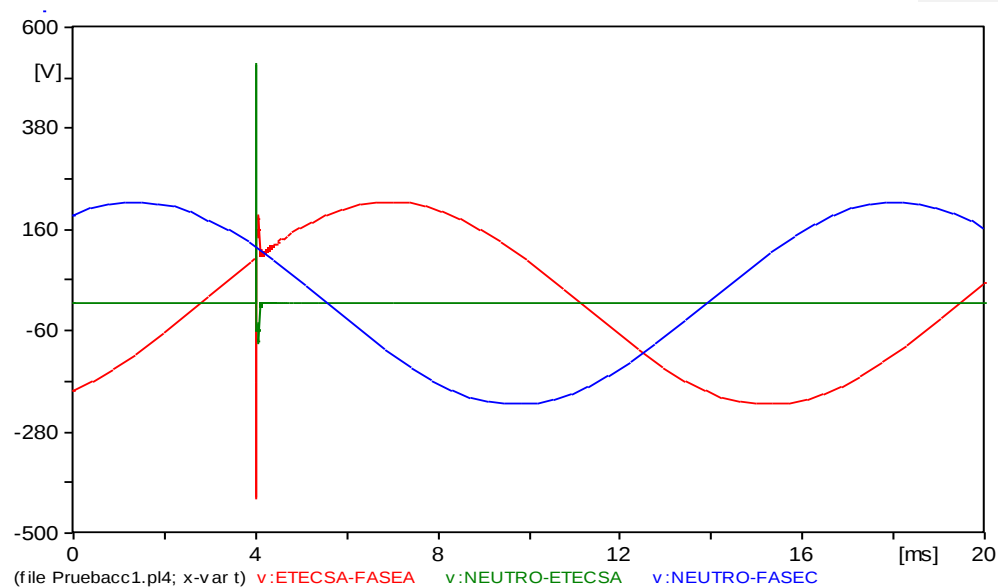


Figura 3.13 Modelación de descarga atmosférica en el Despacho con conexión de la malla de ETECSA

Malla de tierra de ETECSA desconectada: La intensidad de descarga atmosférica mínima que genera sobretensiones superiores a 400 V es de 500 A, de igual forma prácticamente cualquier descarga que impacte el Despacho hace fallar el equipamiento de telecomunicaciones (figura 3.14).

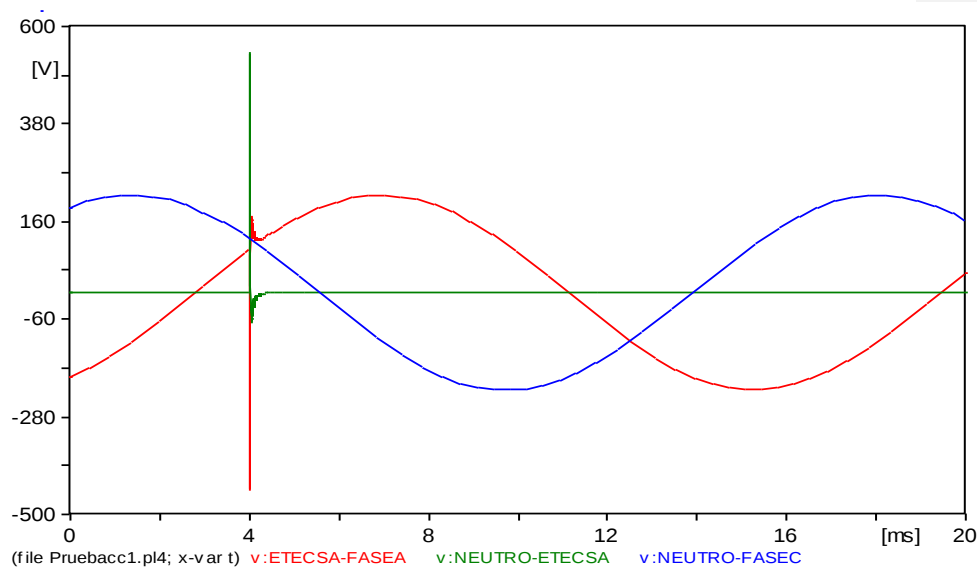


Figura 3.14 Modelación de descarga atmosférica en el Despacho sin conexión de la malla de ETECSA

Se demuestra que para ninguna de las contingencias de fallas, ni para descargas atmosféricas la desconexión de la puesta a tierra de ETECSA al compuesto de electrodos de la instalación ofrece protección contra sobretensiones. Aunque incorporándola disminuye el nivel de tensiones de interrupción aun continua provocando daños al equipamiento electrónico. Destacar que en las simulaciones presentadas la forma de onda dirigida a la medición entre neutro y fases del transformador permanece sinusoidal y de amplitud 220 V.

Igual que para el caso del cortocircuito monofásico la interconexión de la malla de tierra de ETECSA al resto del sistema mejora los niveles de tensión con respecto al cable de protección, pero mantiene un nivel de tensión suficiente como para hacer fallar el aislamiento del equipamiento de telecomunicaciones.

Si se desconecta el cable de protección de la malla de tierra de ETECSA y se conecta a la malla de tierra del despacho para todos los casos de impacto de rayo las tensiones entre neutro y cable de protección siempre serán cero y entre este y

los conductores de fase será una senoide de 220 V de amplitud, como ocurre en todos los casos con la tensión entre fases y neutro. Para el caso de los cortocircuitos monofásicos tanto para cortocircuito en la Subestación como en el Grupo Electrónico las tensiones con respecto al cable de protección también serán cero para el neutro y 220 V para las fases. Solo para el caso de cortocircuito en el banco de transformadores del Despacho se produce un aumento de la tensión en las fases no falladas que se puede limitar a valores no perjudiciales con un supresor de sobretensión a la entrada del local de telecomunicaciones.

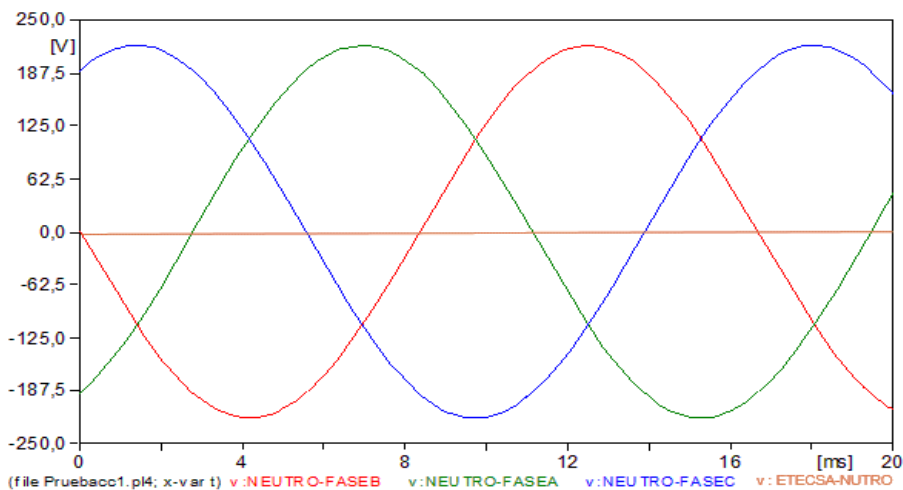


Figura 3.15 Modelación del compuesto de mallas integrado sin tener en cuenta la malla de ETECSA en el modelo

CONCLUSIONES

Una vez concluido el trabajo se arriban a las siguientes conclusiones:

- ▶ La malla de tierra independiente construida por ETECSA para proteger los equipos electrónicos de telecomunicaciones del despacho no ofrece seguridad ante ninguna de las posibles sobretensiones a que pudiera quedar sometido este equipamiento
- ▶ La conexión de la malla de ETECSA al resto del sistema tampoco garantiza una protección adecuada para algunas de las sobretensiones modeladas.
- ▶ La única solución es conectar el cable de protección a la malla de tierra del despacho y poner un supresor de sobretensión a la entrada del local de telecomunicaciones.

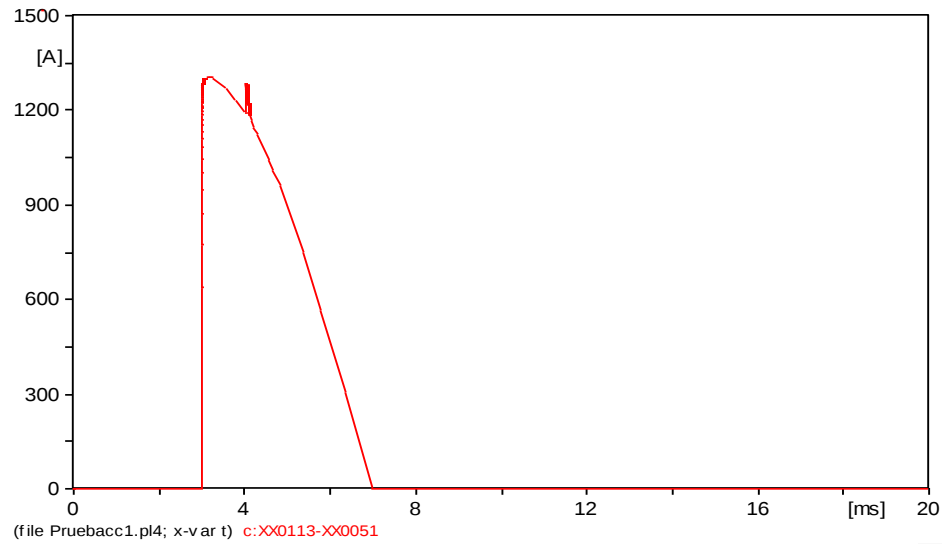
RECOMENDACIONES

Realizar un intercambio técnico con los especialistas de telecomunicaciones de la Empresa Eléctrica y los de ETECSA para darles a conocer los resultados del trabajo y convencerlos de la necesidad de ejecutar las propuestas realizadas en el trabajo.

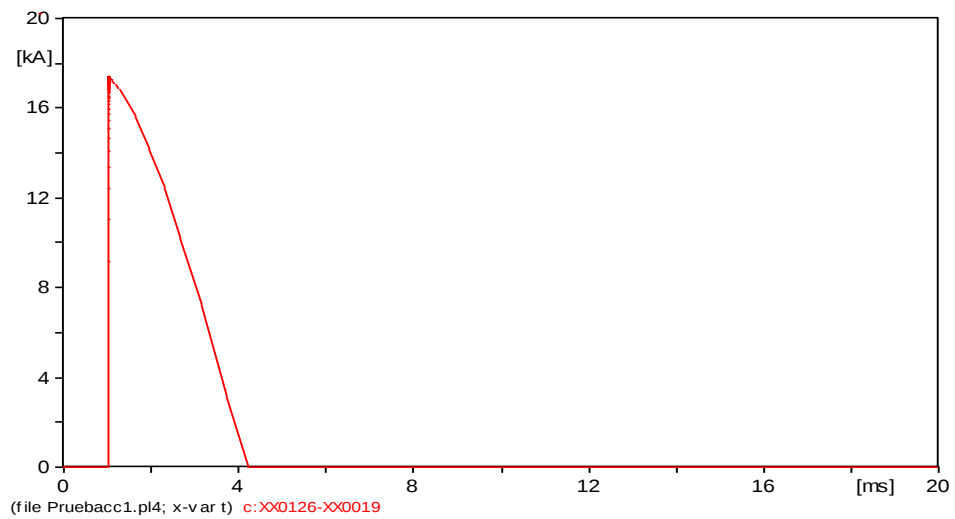
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. C. Correa, "Sobrevoltajes Temporales," Universidad Nacional de Colombia.

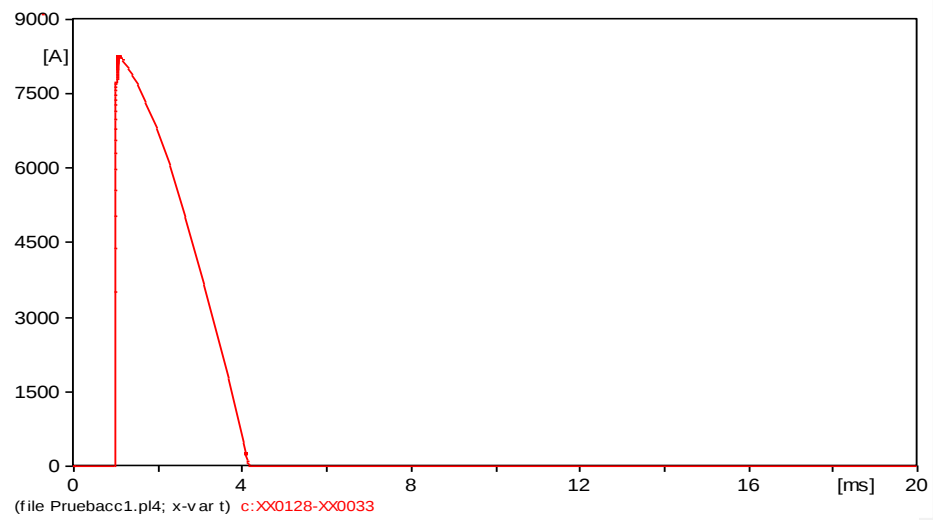
ANEXOS



Anexo 1 Corriente de cortocircuito en el banco de transformadores



Anexo 2 Corriente de cortocircuito de la subestación por lado de 110 kV



Anexo 3 Corriente de cortocircuito de la subestación por el lado de 34.5 kV

A figura 5.14 demonstra a frequência acumulada dos valores de pico das correntes de raios. 50% dos todos os valores têm picos mais do que 30 kA, só 1% dos valores ultrapassam 200 kA.

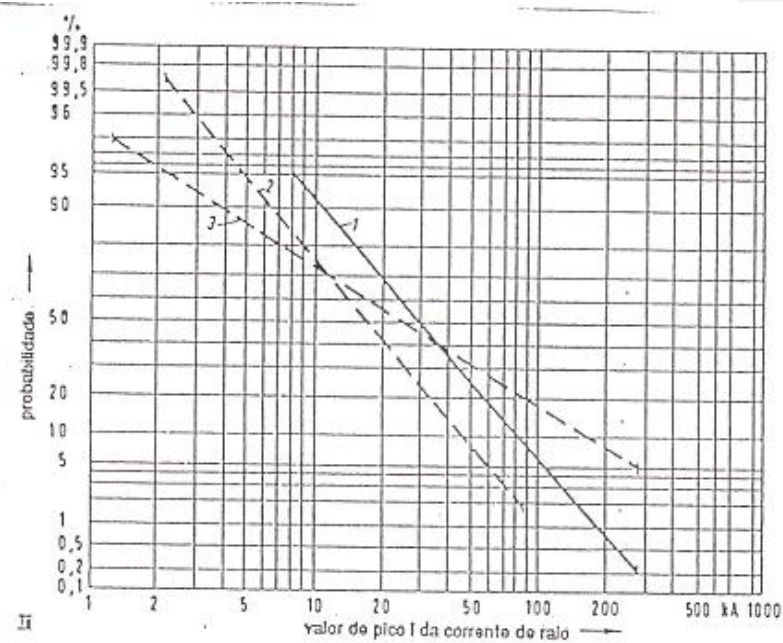


Fig 5.14 Probabilidade dos diferentes amplitudes dos raios
 1 = primeiros raios, (—) 2 = raios negativos, 3 = raios positivos

Esto te sirve para justificar porque tu corriente de rayo tienen una amplitud de 30kA