



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA
MOA – HOLGUÍN

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de

Ingeniero Eléctrico

Título: Instructivo Metodológico para la utilización del software
Power Factory

Autor: Felix Ramón Alfajarrín García.

Tutores: Ms.C. Osmany Pérez Aballe.

Ing. José Antonio de la Torre Velázquez.

Moa-2016

“Año 58 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

El autor Felix Ramón Alfajarrín García, de acuerdo a su disposición y con el visto bueno de los tutores, Ms.C. Osmany Pérez Aballe y Ing. José Antonio de la Torre Velázquez, declara: Este trabajo de Diploma con título: "Instructivo Metodológico para la utilización del software Power Factory" como propiedad intelectual usable en términos de uso, con fines docentes y educativos; a favor del ISMM "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Felix Ramón Alfajarrín García

MSc. Osmany Pérez Aballe

Ing. José Antonio de la Torre Velázquez

FELIX RAMÓN ALFAJARRÍN GARCÍA

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Agradecimiento

A mis familiares.

Al departamento de eléctrica del ISMMM Dr. Antonio Núñez Jiménez.

A mis tutores, Osmany Pérez Aballe y José Antonio de la Torre Velázquez.

A mis compañeros de estudio.

A todas aquellas personas que de forma directa e indirecta contribuyeron con mi formación profesional.

A nuestra Revolución por brindarme la oportunidad de hacer realidad mi sueño.
Muchas Gracias a todos.

Dedicatoria

A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo, en especial:

A mi familia por su apoyo brindado durante todo este tiempo.

A nuestra Revolución por brindarme esta oportunidad.

Pensamiento



"...Siempre mediremos por encima de todo a un técnico y a un científico no por sus conocimientos sino, por el grado de hermandad con que es capaz de aportar al género humano sus conocimientos".

Fidel Castro Ruz

Resumen

Resumen

En el presente trabajo se muestra un Instructivo Metodológico para la utilización del software Power Factory con el objetivo de entrenar los operarios de las Empresas Eléctricas de nuestro país, dando uso de las herramientas del software, donde se ensaya la introducción de los elementos de la red para la confección de un monolineal, luego la decisión en dependencia del tipo y alcance del análisis que se desee, sería la herramienta a utilizar y por último el análisis de los resultados. Para la sistematización de la metodología se propone la realización de un caso de estudio teórico donde se encuentren gran variedad de situaciones en un solo circuito, con el objetivo de implementar las herramientas fundamentales para una correcta estabilidad del Sistema.

Summary

Summary

In the present work it is to show a Methodological Instructions for using the Power Factory software in order to train operators of Electric Companies of our country, giving use of software tools, where the introduction of elements tested network for the making of a monoline, then the decision depending on the type and scope of analysis desired, would be the tool to use and finally the analysis of the results. For systematizing methodology making a theoretical case study where a variety of situations are in a single circuit, in order to implement the fundamental tools for proper stability of the system it is proposed.

Índice

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN V

SUMMARY VI

TABLA DE CONTENIDOVII

INTRODUCCIÓN 1

Situación Problemática 1

Problema 2

Hipótesis 2

Objetivo generales 2

Objetivos específicos 2

Campo de acción..... 2

Objeto de estudio 2

Justificación 2

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONTEXTUAL..... 3

1.0 Introducción 3

1.1 Estado del arte..... 3

1.2 Manejo del software Power Factory 4

1.2.1 Inicio de Sesión y Ventana de registro 5

1.2.2 Entorno de Power Factory 7

1.2.3 Creación de Proyecto..... 8

1.2.4 Administrador de base de datos 9

1.2.5 Activar o desactivar proyectos..... 10

1.2.6 Botón derecho del ratón..... 11

1.2.7 Importar Proyectos..... 12

Índice

1.3 Exportar proyectos	13
1.4 Conclusiones	15
CAPÍTULO 2 INSTRUCTIVO METODOLÓGICO	16
2.0 Introducción	16
2.1 Estructura de la Metodología	16
2.2 Introducción de los elementos de la red eléctrica	16
2.2.1 Terminales o Barras	17
2.2.2 Generadores Sincrónicos	18
2.2.3 Transformadores	20
2.2.4 Transformadores con Tap	20
2.2.5 Líneas.....	21
2.2.6 Cargas	22
2.3 Introducción de la herramienta a utilizar	23
2.3.1 Flujo de potencia.....	23
2.3.1.1 Estabilidad de voltaje.....	24
2.3.2 Cortocircuito	25
2.3.2.1 Método Completo	26
2.4 Análisis de los resultados.....	26
2.4.1 Resultados del flujo de potencia	27
2.4.2 Resultados del análisis de cortocircuito.....	27
2.4.2.1 Falla Trifásica	28
2.4.2.2 Falla Bifásica	28
2.4.2.3 Falla Bifásica Tierra.....	28
2.4.2.4 Falla Monofásica a Tierra	28
2.4.2.5 Factor de voltaje c.....	28

Índice

2.5 Conclusiones.....	29
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL CASO TEÓRICO DE ESTUDIO	30
3.0 Introducción	30
3.1 Terminales de una red.....	30
3.2 Inserción de transformadores.....	31
3.3 Dibujo de líneas	32
3.4 Dibujo del generador y la carga.....	32
3.5 Datos de un generador	33
3.6 Edición de los terminales	35
3.7 Edición de los transformadores.....	36
3.8 Datos de la línea.....	37
3.10 Cálculos pertinentes	41
3.11 Flujo de potencia.....	41
3.11.1 Resultados del flujo de potencia	42
3.12 Estabilidad del sistema.....	43
3.12.1 Circuito número uno del caso teórico de estudio.....	43
3.12.2 Circuito número dos del caso teórico de estudio	45
3.12.2 Circuito número tres del caso teórico de estudio	47
3.14 Conclusiones.....	49
COLUSIONES GENERALES	50
RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	54

Introducción

INTRODUCCIÓN

La simulación digital de los Sistemas Eléctricos de Potencia es un tema que ha venido evolucionando, los programas actuales como el Power Factory poseen varias herramientas de análisis que combinan criterios técnicos y económicos, además la interfaz gráfica es agradable y fácil de manejar.

El software Power Factory de la empresa DigSILENT es una herramienta especializada en el análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, está provista de varios módulos entre los cuales se encuentran: flujos de potencia, cortocircuitos y herramientas para el análisis de estabilidad de sistemas eléctricos.

Debido a su gran versatilidad el Power Factory es una herramienta de análisis utilizada en entidades encargadas de la operación y estudio de los sistemas de potencia a nivel internacional. Por este motivo el presente trabajo comprende un entrenamiento en el uso de las herramientas del software para los operarios de nuestro país.

El objetivo del presente trabajo es el de diseñar un instructivo metodológico para el entrenamiento de los operarios de las Empresas Eléctricas de nuestro país. Para el cual se escogió un caso teórico de estudio donde se presenten varias situaciones junta y en un circuito no muy extenso, con el objetivo de una mejor comprensión de los operarios.

Situación Problemática

El Power Factory es un software potente en el mercado internacional que brinda grandes oportunidades como el cálculo de parámetros de líneas de transmisión, estudio de flujos de potencia, de cortocircuitos, de estabilidad transitoria y de pequeña señal en sistemas monomáquina y multimáquina y coordinación de protecciones de corriente, voltaje y frecuencia en sistemas de potencia, sin embargo, en la Empresa Eléctrica se siguen usando softwares de menores prestaciones, que imposibilitan un análisis integral del sistema eléctrico nacional. Es política del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) la implementación de la técnica necesaria para ser más eficientes en su trabajo,

Introducción

aunque el personal técnico no está preparado aún para recibir este cambio de tecnología.

Problema

Insuficiente base material de estudio enfocada al conocimiento de los operarios sobre la utilización del software Power Factory.

Hipótesis

Si se realiza un Instructivo Metodológico con lenguaje técnico asequible a los operarios y se desarrolla un caso de estudio teórico, entonces se contará con la herramienta adecuada para la capacitación de los operarios de las empresas eléctricas.

Objetivo generales

Diseñar un Instructivo Metodológico con un lenguaje técnico asequible a los operarios de la Empresa Eléctrica para la utilización del software Power Factory.

Objetivos específicos

1. Elaborar un Instructivo Metodológico para paquete computacional Power Factory enfocado a los operarios de las Empresas Eléctricas a fin de facilitar el manejo de los módulos requeridos para los estudios eléctricos del Sistema Electroenergético Nacional.
2. Desarrollar un caso de estudio teórico en el que estén presentes la mayor cantidad de elementos y situaciones posibles en las líneas.

Campo de acción

Instructivo Metodológico para la aplicación del software Power Factory.

Objeto de estudio

Sistemas eléctricos de potencia.

Justificación

El desarrollo de software especializado ha revolucionado la forma de realizar estudios e investigación en muchos campos de la ingeniería y en especial en los sistemas eléctricos de potencia. Por esta razón se hace necesario mejorar

Introducción

el pensum académico de operarios con herramientas como el Power Factory. Para el correcto manejo de este software es necesario una guía que permitan realizar estudios eléctricos. Esta herramienta podrá ser utilizada por estudiantes y operarios en la realización de trabajos para el medio externo.

Capítulo 1. Marco teórico contextual

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONTEXTUAL

1.0 Introducción

El programa de cálculo DIgSILENT es una herramienta computarizada avanzada de diseño asistido en ingeniería para el análisis de sistemas eléctricos de potencia, comercial e industriales y a gran escala. Ha sido diseñado como un avanzado, integrado e interactivo paquete computacional dedicado a los sistemas de potencia para lograr los objetivos principales de planificación y operación.

La naturaleza actual de los sistemas eléctricos de potencia es la de ser una compleja estructura formada por miles de elementos: generadores, transformadores, líneas, cargas, entre otros, cada uno de los cuales tiene asociado elementos de medición y control, de una naturaleza compleja. A futuro, la complejidad y las dimensiones de los problemas asociados a los sistemas de potencia aumentará. En tal sentido, los análisis de estos sistemas requieren de una poderosa herramienta como DIgSILENT Power Factory para acometer en forma adecuada los estudios que la planificación y operación de sistemas de potencia requiere.

1.1 Estado del arte

El desarrollo del programa de cálculo DIgSILENT comenzó en 1976 y utiliza el talento de muchos ingenieros experimentados en sistemas de potencia y desarrolladores de programas directamente involucrados con la planificación, operación y mantenimientos de sistemas de potencia.

El nuevo DIgSILENT Power Factory es una herramienta integrada de análisis de sistemas de potencia que demuestra la capacidad de modelación confiable y flexible del sistema y un concepto único de manejo de bases de datos.

El concepto Power Factory fue iniciado en 1993 cuando fue tomada la decisión de hacer una reingeniería al ya existente y exitoso DIgSILENT con algoritmos de solución mejorados y tecnología de programación avanzada.

Capítulo 1. Marco teórico contextual

El Power Factory es un software profesional con excelentes resultados en el mundo, y por los beneficios que este brinda es política de la Unión Nacional Eléctrica (UNE) la inserción de este en nuestras empresas Eléctricas. Los principales beneficios que aporta son: que permite realizar circuitos con conexión en lazo, estudios de esquemas óptimos con varios niveles de tensión, simulación de estabilidad, podemos simular arranques de motores, gráficos de parámetros eléctricos; también nos permite trabajar tanto con redes monofásicas como trifásicas y dentro de los escenarios de trabajo se puede operar con solamente una parte del circuito y a este realizarle cualquier operación o cálculo que se desee, algo que con los software que contamos en Cuba que son el Radial y el PSX no permiten hacer muchas de estas operaciones.

Este software posee un manual donde se explican los procedimientos y pasos para su utilización en la creación de casos de estudios, pero con un lenguaje muy general y poco detallado para una mejor comprensión de los operarios, su forma de diseños de casos de estudios es la de inserción de datos y luego la de creación del circuito lo tiende a confundir e introducir datos erróneos. También este manual se encuentra en idioma inglés el cual no es del dominio de una gran mayoría de los operarios lo cual dificulta su comprensión. En el 2008 se expuso una tesis de estudio de sistemas eléctricos utilizando el Power Factory donde se explica bien la metodología de cálculo, pero no desarrolla ejemplos de casos de estudio donde se explique desde la inserción de los elementos en la creación de un circuito hasta la explicación de los resultados y la propuesta para resolver disímiles situaciones que se presenten.

1.2 Manejo del software Power Factory

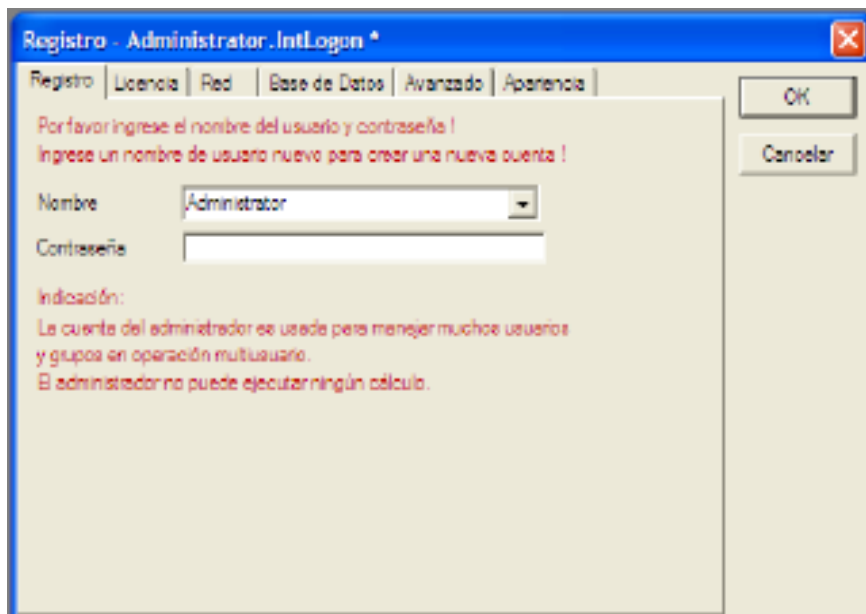
En esta guía introductoria al software Power Factory, se indica en forma resumida los primeros pasos que debe dar el usuario para empezar a utilizar el programa.

Capítulo 1. Marco teórico contextual

1.2.1 Inicio de Sesión y Ventana de registro

Power Factory asegura la información en base a la creación de usuarios, los cuales pueden compartir la información a través del usuario denominado Administrador.

Al iniciar el programa sale la ventana de la (figura1.1), donde aparece el



nombre de administrador, el cual puede ser cambiado por demo u otro usuario.

Figura 1.1 Ventana de Registro.

Los datos que se proporcionen en esta ventana dependerán del tipo de usuario según se indica a continuación:

Nombre: Administrador.

Contraseña Predefinida: Administrador.

Características: El administrador no puede realizar ningún cálculo, pero permite tener ingreso a la información de todos los usuarios, así como también permite crear y estructurar los sistemas y bases de datos.

Nombre: Demo.

Contraseña Predefinida: (no existe contraseña).

Capítulo 1. Marco teórico contextual

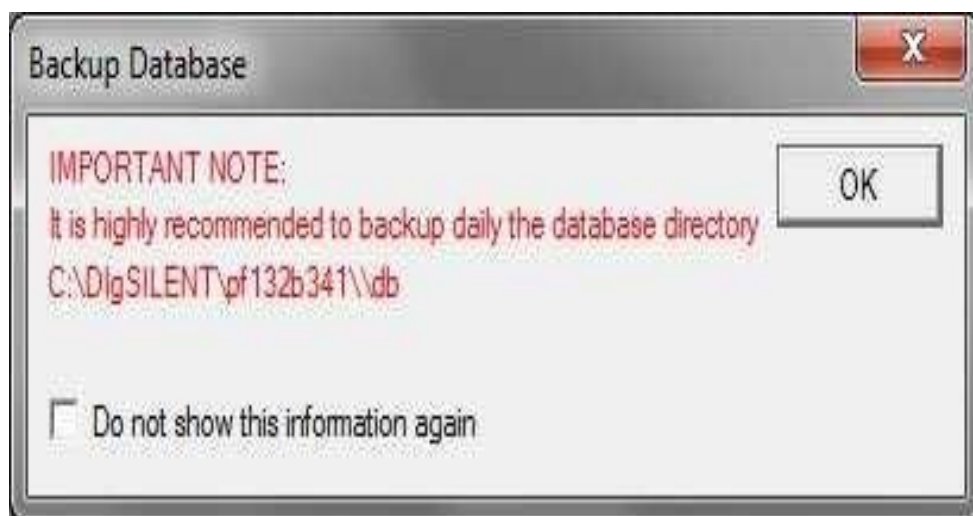
Características: El demo únicamente permite observar algunos casos de ejemplo que vienen junto al software.

Nombre: Usuario (nombre que desee utilizar).

Contraseña: Definida por el Usuario.

Características: Permite crear Base de datos, efectuar cálculos, realizar simulaciones. Para crear un usuario nuevo únicamente escriba un nombre de cuenta en la casilla nombre, y una contraseña, en la casilla correspondiente, al presionar OK el programa pregunta si desea crear un nuevo usuario, realice clic en OK. Cada vez que desee trabajar en un proyecto de su autoría tendrá que identificarse.

Una vez introducidos los datos requeridos se presionará el botón OK. Después saldrá una ventana de aviso en la que se recuerda que DigSILENT Power Factory no tiene la opción de guardar el trabajo, es decir que en este programa todo lo que se realiza queda automáticamente guardado, no tiene la opción de deshacer, por lo que hay que ser meticuloso y cuidadoso con lo que se hace y además como la propia ventana de la figura 1.2 dice “es recomendable hacer una copia diaria de la carpeta donde se va guardando automáticamente el trabajo realizado.” Más adelante se explicará otro modo de



guardar el trabajo exportando datos.

Figura 1.2 Ventana de aviso.

Capítulo 1. Marco teórico contextual

Al presionar OK aparece la ventana de trabajo de Power Factory.

1.2.2 Entorno de Power Factory

Al hacer clic en OK en la ventana de registro, se ha iniciado la sesión y se observa la ventana de la figura 1.3.

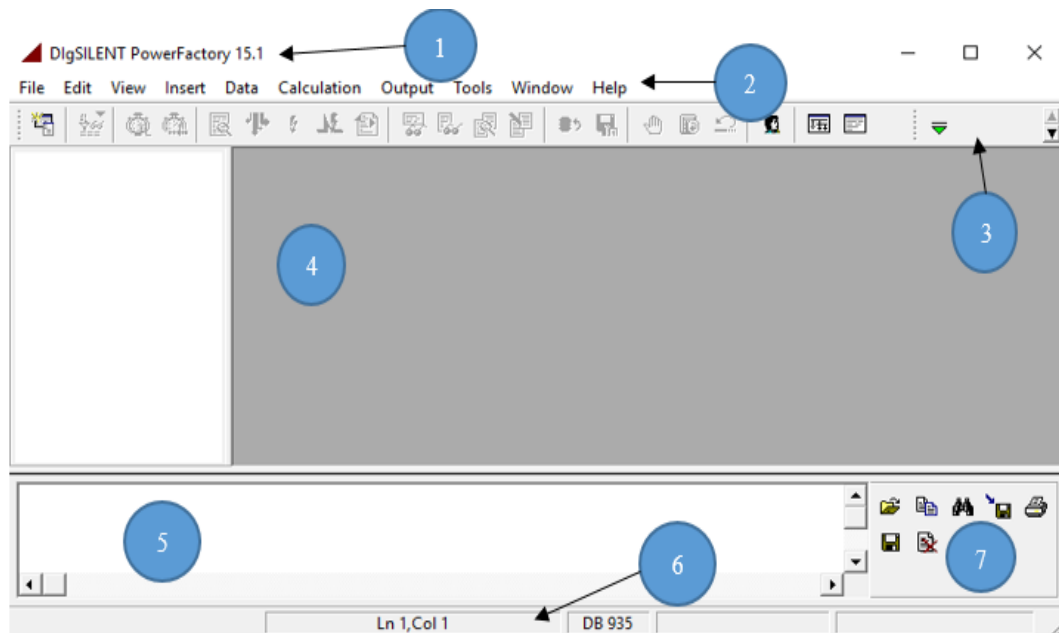


Figura 1.3 Pantalla principal de Power Factory.

En donde:

1. Barra de título.
2. Barra de menús.
3. Barra de herramientas.
4. Área de trabajo.
5. Área de resultados.
6. Barra de estado.
7. Herramientas del área de resultados.

Área de trabajo: Muestra las hojas de trabajo en las cuales se está implementando el proyecto, también hojas con resultados gráficos u hojas con diagrama de control.

Área de resultado: Muestra los resultados de la simulación efectuada, o errores en caso de existir.

Capítulo 1. Marco teórico contextual

1.2.3 Creación de Proyecto

Para empezar a trabajar en Power Factory se creará un nuevo proyecto. En la barra de herramientas *File* → *New* → *Proyecto* apareciendo la ventana de la

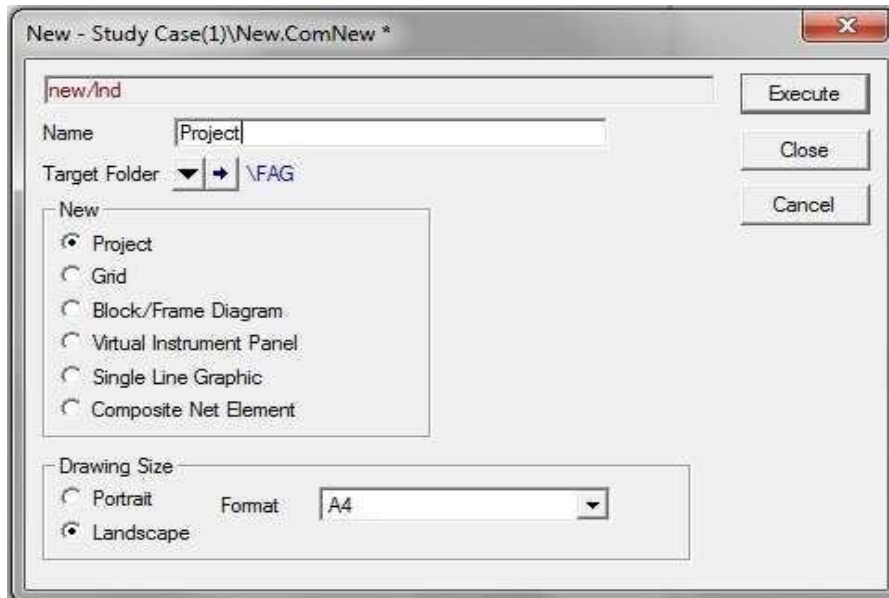
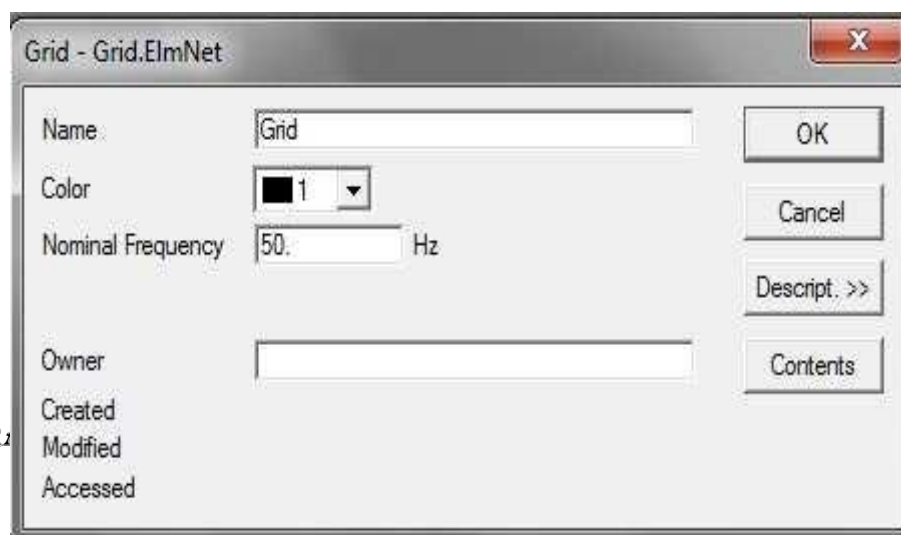


Figura 1.4. En lo que sigue,  será el botón de edición y  será el botón de opciones. En el botón de opciones se elige el directorio donde se quiere tener el nuevo proyecto.

Figura1.4 Creación de un nuevo proyecto.

Se observará que esta ventana es usada para crear otros tantos nuevos elementos. Para crear un nuevo proyecto debe seleccionarse proyecto como opción. Como nombre del nuevo proyecto puede elegirse el que se quiera.

Presionando *Execute*, un nuevo proyecto será creado. Un proyecto debería contener al menos una red y al menos un caso de estudio. Una segunda ventana de datos aparece (figura 1.5) para permitir al usuario especificar el



Capítulo 1. Marco teórico contextual

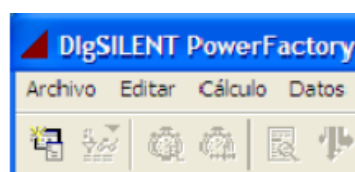
nombre y la frecuencia nominal de la nueva red creada automáticamente.

Figura 1.5 Ventana de datos.

1.2.4 Administrador de base de datos

El administrador de datos provee al usuario con todas las características para gestionar y mantener todos los proyectos y los datos de todas las etapas del sistema. Da una vista completa del sistema como base de datos tanto como información detallada sobre los parámetros de los elementos del sistema de potencia y otros elementos.

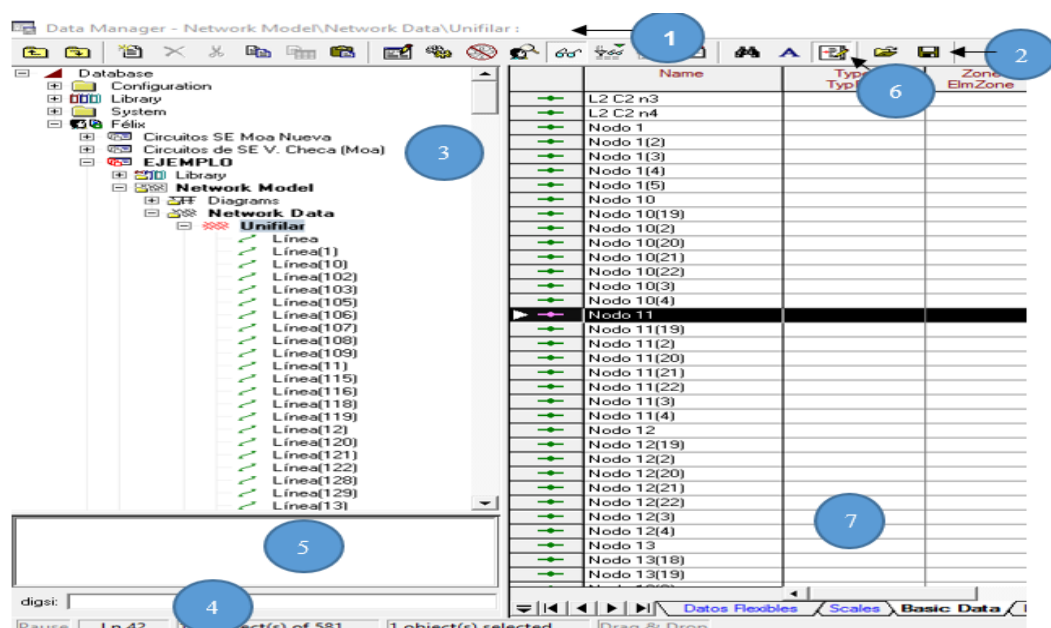
Pueden definirse nuevos casos de estudio, añadirse nuevos elementos, nuevas etapas del sistema pueden ser creadas, activadas o eliminadas, los parámetros pueden cambiarse o copiarse. Todas estas acciones pueden ser



controladas a través del administrador de datos (figura1.6).

Figura 1.6 Ingreso a la base de datos.

Este administrador de datos usa una representación en forma de árbol de toda



Capítulo 1. Marco teórico contextual

la base de datos al completo, en combinación con un versátil navegador de datos. Si se presiona el primer icono de la barra de herramientas,  (figura 1.6), llamado *New Data Manager* aparece dicho árbol donde irán colgando todas las redes creadas (figura1.7)

Figura1.7 Ventana del Data Manager.

La ventana del administrador de datos tiene las siguientes partes (figura1.7):

- La barra de título, que muestra el nombre y la ruta de la carpeta que actualmente está seleccionada en la base de datos (marca 1 de la figura1.7).
- La barra de herramientas local (marca 2 de la figura1.7).
- En la parte superior izquierda de la ventana, se muestra una representación simbólica del árbol de la base de datos al completo (marca 3 de la figura1.7).
- La parte inferior izquierda de la ventana puede ser usada por usuarios con experiencia para introducir comandos directamente, en lugar de usar los comandos interactivos de botones y cuadros de diálogo. Por defecto esta parte de la ventana no se muestra (marca 4 de la figura1.7).
- Entre el árbol y la línea de entrada se muestra el listado histórico que puede ser usado para realizar cálculos en bloque (marca 5 de la figura1.7).
- La ventana de entrada de comandos y el listado histórico son abiertos y cerrados por el icono  (marca 6 de la figura1.7).
- En la parte derecha se muestran los contenidos de la carpeta actual seleccionada (marca 7 de la figura1.7).
- Por debajo del navegador de la base de datos o árbol y de la ventana de entrada se encuentra la barra de salida de mensajes que muestra el estado actual del administrador de datos.

1.2.5 Activar o desactivar proyectos

Para poder trabajar en un proyecto, éste debe estar activo, los siguientes pasos permiten activar o desactivar un proyecto: clic derecho en el nombre del proyecto y luego activar o desactivar según sea el caso. Al realizar este

Capítulo 1. Marco teórico contextual

proceso se activa el proyecto junto a un Caso de Estudio, si se desea trabajar con otro caso de estudio se debe activarlo realizando clic derecho en el caso de estudio y presionando Activar. Únicamente se activará un proyecto por usuario o un solo caso de estudio por proyecto. Los proyectos y casos activos se identifican debido a que su ícono se torna rojo como se muestra para un caso de estudio:



Caso de estudio activo.

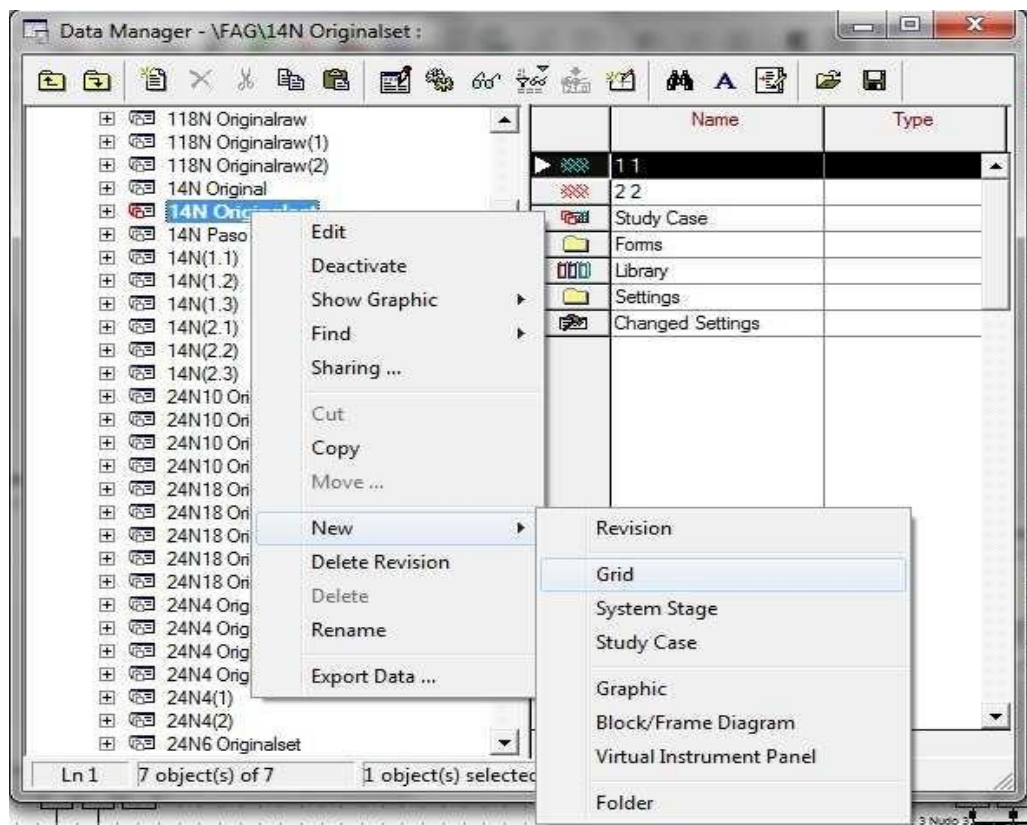


Caso de estudio inactivo o desactivado.

1.2.6 Botón derecho del ratón

Power Factory asigna muchas funciones al botón derecho del ratón. Cada objeto o carpeta puede ser seleccionado con el botón derecho para hacer aparecer un menú (Figura1.8).

Generalmente, el lado izquierdo del administrador mostrará carpetas de objetos; es decir, objetos que contienen otros objetos dentro. El lado derecho del administrador mostrará carpetas de objetos y objetos individuales.



Capítulo 1. Marco teórico contextual

Figura1.8 Menús de botón derecho de Power Factory.

1.2.7 Importar Proyectos

Para la importación de proyectos dentro del Power Factory tenemos dos métodos o vías. La primera es dando clic izquierdo en el botón *New Data*

manager , seguido a esto nos aparece el árbol jerárquico donde debe aparecer el nombre de nuestro usuario, dando clic derecho sobre este y luego en la opción importar como muestra la figura1.9.

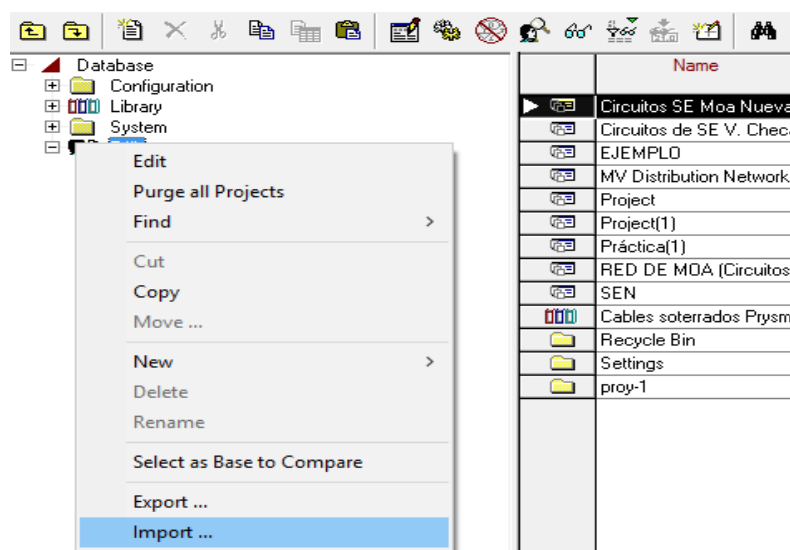
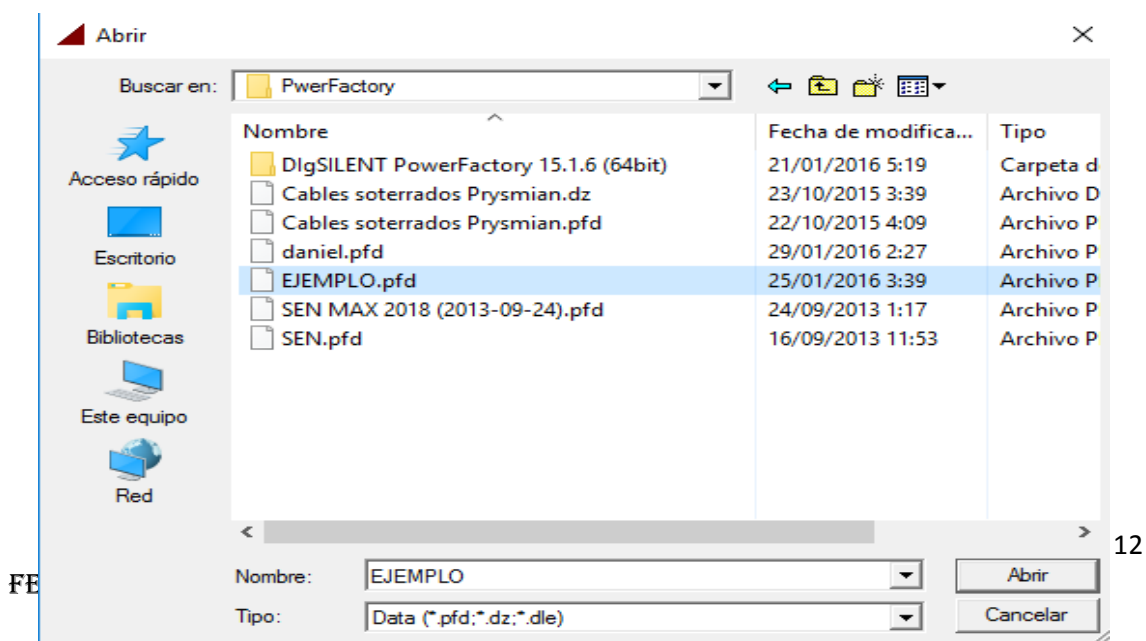


Figura 1.9 Ventana de importación.

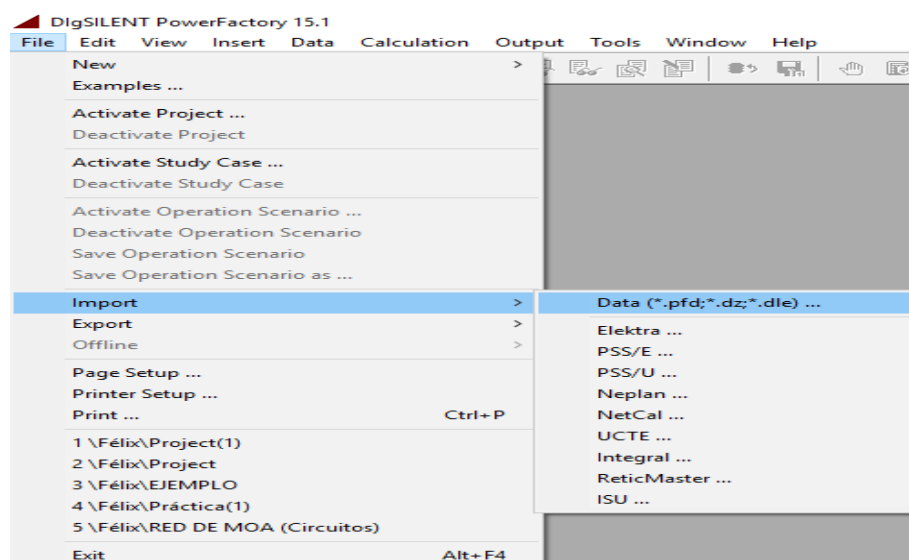
Al realizar estas operaciones aparece la ventana de la (figura 1.10) pero tenemos que tener en cuenta que el documento que queremos importar tiene que estar en los formatos (pfd; dz; dle) como se muestra en esta figura.



Capítulo 1. Marco teórico contextual

Figura 1.10 Formato de los documentos.

La otra vía para la importación de proyectos es dando clic en la barra de menú,



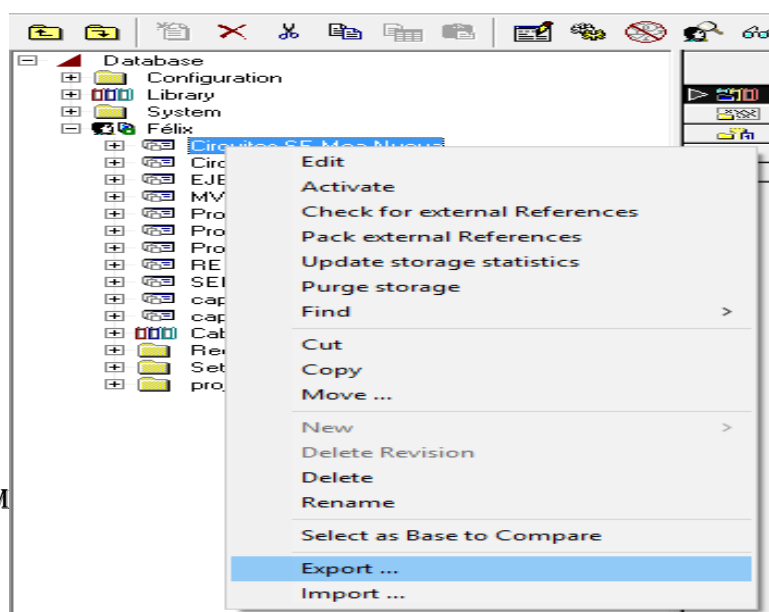
en la opción file, luego en importar como lo muestra la (figura 1.11).

Figura 1.11 Segunda ventana de importar proyectos.

1.3 Exportar proyectos

A pesar de que el software guarda automáticamente se hace necesario guardar la información en otro lugar, como en una memoria u otra máquina que no es la que se usa comúnmente. Por esto se hace necesario la exportación de proyectos.

Para la exportación de un proyecto lo primero que se tiene en cuenta es que no puede estar activado ya que no nos permite exportarlo, luego damos clic derecho sobre el que se desea exportar y le damos exportar como se muestra

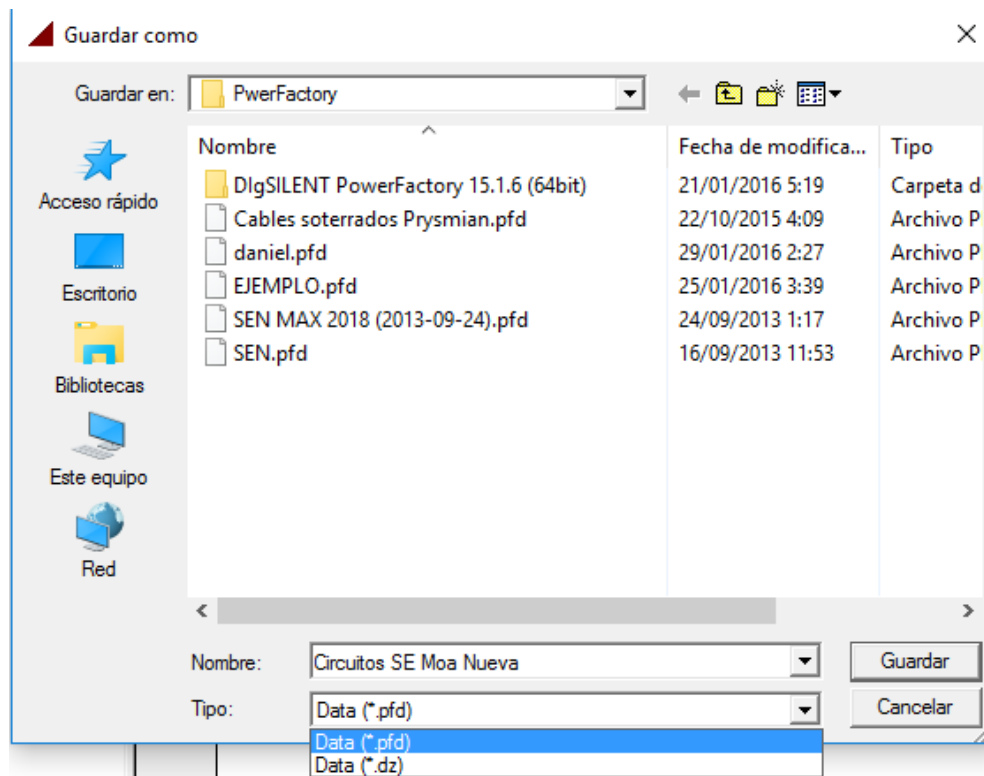


Capítulo 1. Marco teórico contextual

en la (figura 1.12).

Figura 1.12 Ventana de exportación.

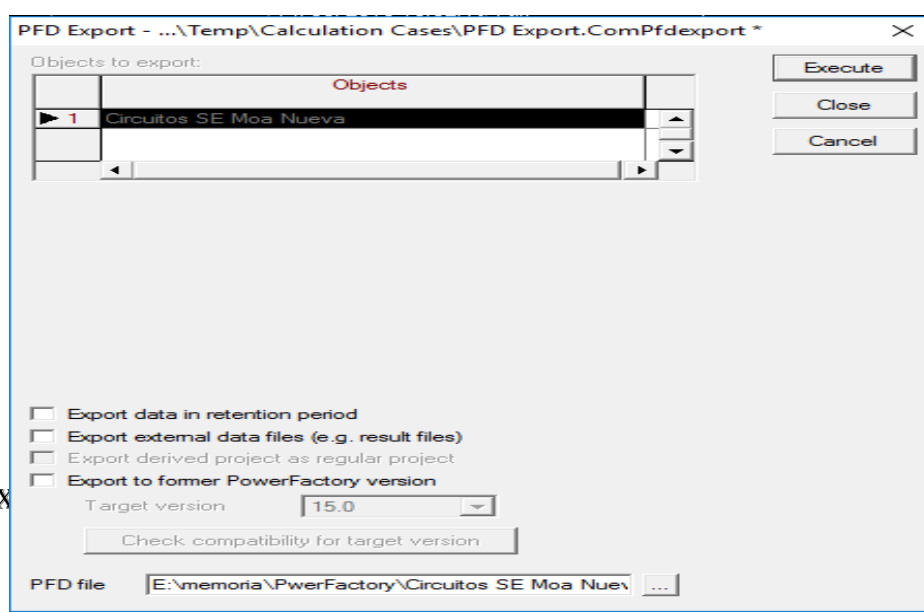
Luego aparece la ventana de la figura 1.13 donde se introduce el nombre con el que se desea guardar el proyecto y se escoge el formato deseado, que pueden ser pfd; dz, cualquiera de los dos es recomendado para su posterior



importación.

Figura 1.13 Ventana de formato a guardar.

Lo último es verifica el nombre del proyecto y damos ejecutar en la próxima



Capítulo 1. Marco teórico contextual

ventana que aparece (figura1.14).

Figura 1.14 Ventana de ejecución.

1.4 Conclusiones

En este capítulo se abordó sobre las opciones y facilidades que brinda el software Power Factory, dando una explicación de algunos aspectos como la creación de proyectos y bases de datos y la importación y exportación de proyectos. También se mostraron las ventanas principales del software y sus partes esenciales las cuales brindan mucha información visual que ayudan a la comprensión de los operarios.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

CAPÍTULO 2 INSTRUCTIVO METODOLÓGICO

2.0 Introducción

En el presente capítulo se muestra la metodología con los aspectos fundamentales que se puede desarrollar en el Software objeto de estudio: La introducción de los elementos de la red para la confección del monolineal, luego la decisión en dependencia del tipo y alcance del análisis que deseamos sería la herramienta a utilizar, y por último el análisis de los resultados.

2.1 Estructura de la Metodología

En la siguiente figura se muestra en una estructura en bloques los principales

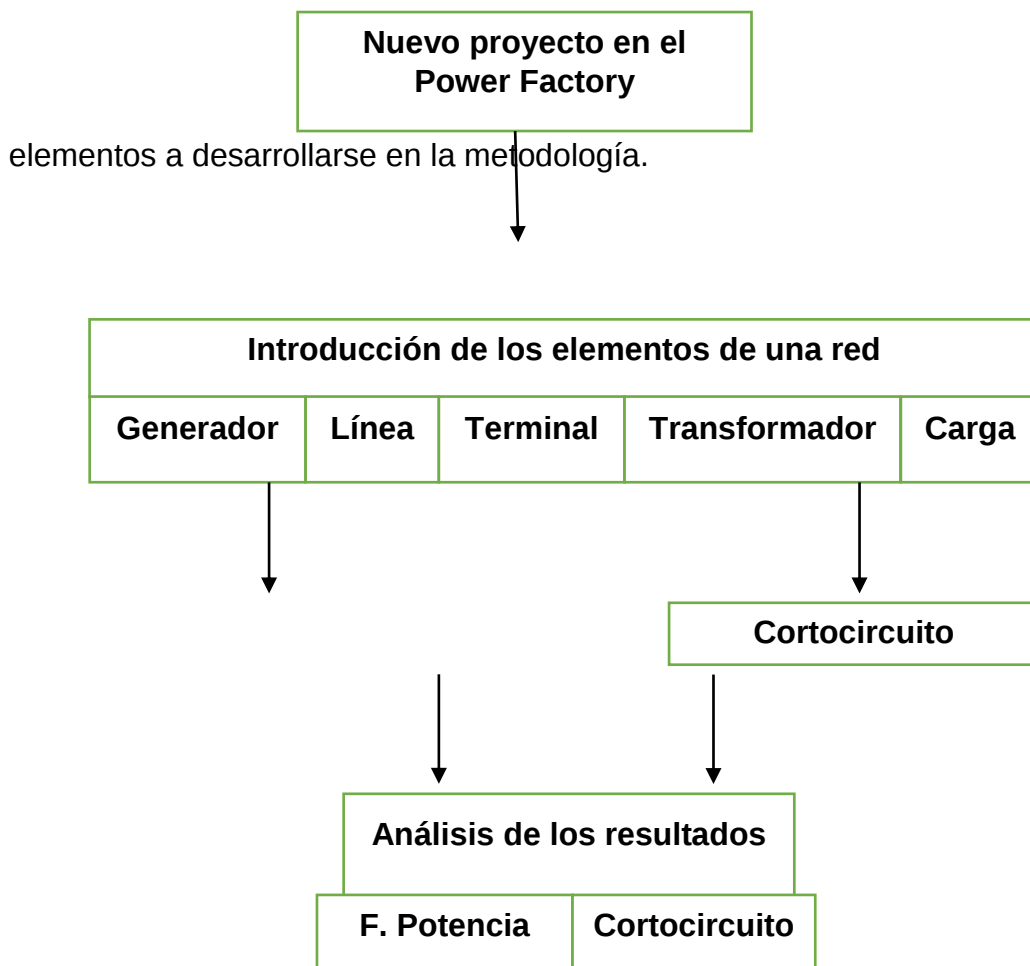


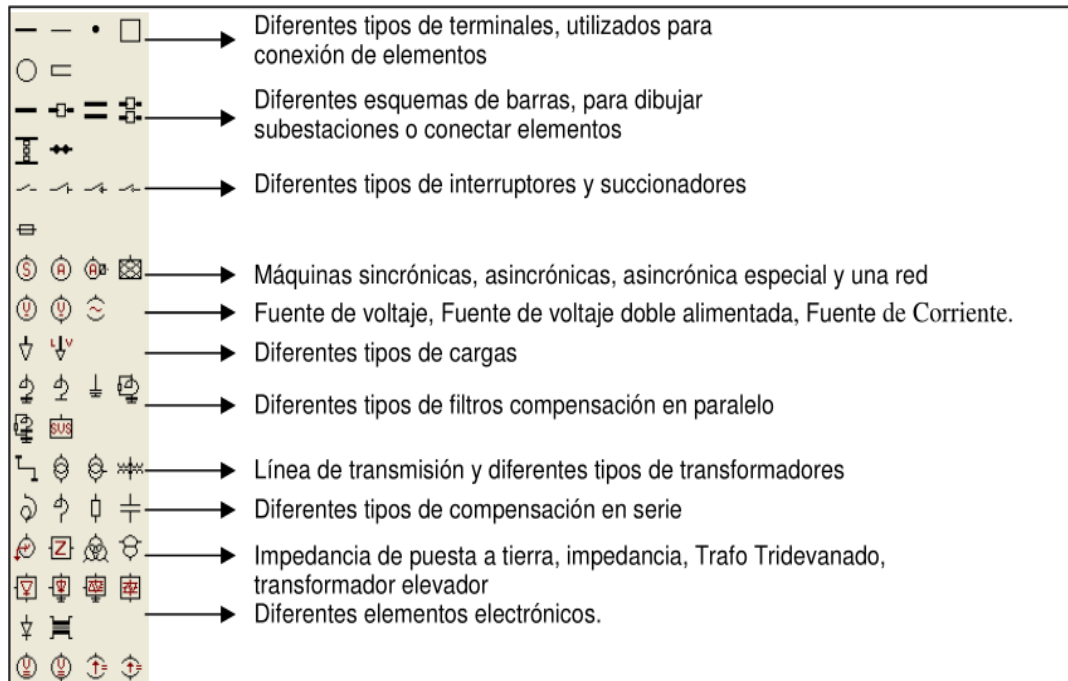
Figura 2.1 Esquema en bloques de la metodología.

2.2 Introducción de los elementos de la red eléctrica

Para la creación de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) se necesita primeramente la creación de un proyecto, lo cual se explicó cómo realizarlo en

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

el capítulo anterior. Generalmente los elementos más utilizados de un SEP pueden ser: generadores, terminales, transformadores, líneas y cargas. Todos



estos elementos se encuentran en el área de las herramientas de dibujo, como se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.2 Herramientas de dibujo.

2.2.1 Terminales o Barras

Los terminales representan elementos de conexión de los generadores, líneas de compensación, entre otras. Por este motivo se toman como referencia para examinar el comportamiento de variables eléctricas como: potencia activa, potencia reactiva, magnitud y ángulo de voltaje. En un SEP se pueden determinar los siguientes tipos de barras:

Barra de voltaje controlado (PV). - Este tipo de barra está asociada a generadores, condensadores síncronos y compensación estática capacitiva, por tanto, es posible declarar la potencia activa que se va a despachar y la magnitud de voltaje, además de los límites de potencia reactiva dentro de los cuales puede trabajar.

Barra de carga PQ. - Este tipo de barra está asociada a cargas que generalmente se les considera de potencia constante, por ende, se especifica la potencia activa y reactiva a ser absorbida del sistema.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

Barra de Dispositivos. - En esta barra se especifica los límites relacionados con los dispositivos conectados, los mismos que pueden ser convertidores HVDC, u otros dispositivos de control de potencia.

Barra Oscilante (*Slack o Swing Bus*). - Esta barra tiene la cualidad de entregar la potencia activa y reactiva necesaria para poder balancear el sistema. En esta barra se debe especificar el voltaje en magnitud y ángulo ya que es la referencia para todos los cálculos. En la vida real esta barra no existe ya que todos los generadores tienen sus limitaciones.

En la figura 2.3 se muestra una representación de un terminal en el área de trabajo del Power Factory.

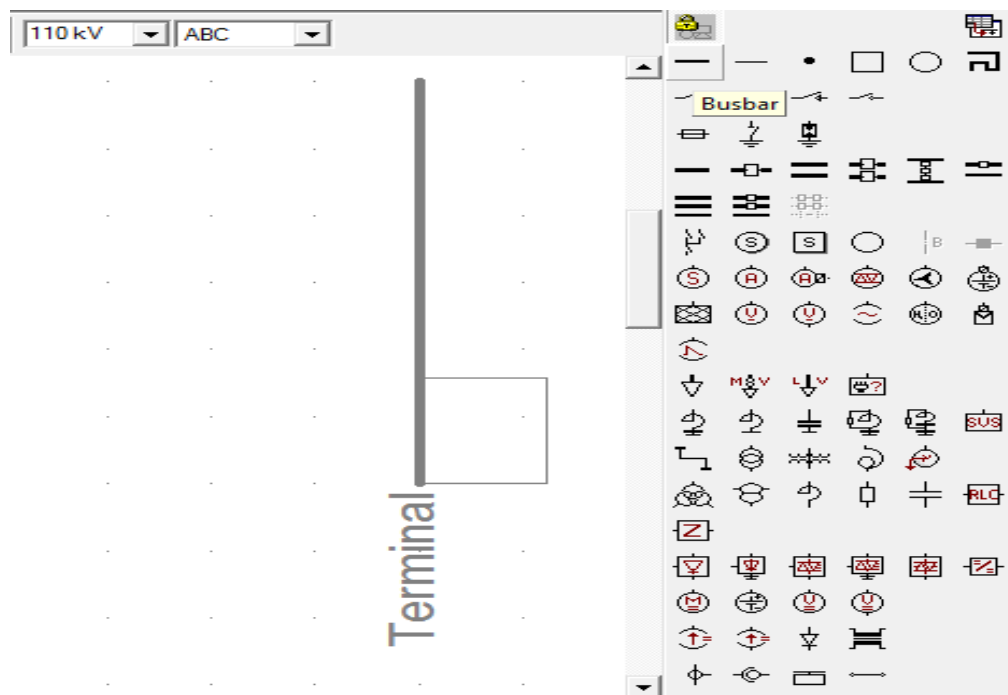


Figura 2.3 Representación de un terminal.

2.2.2 Generadores Sincrónicos

Las máquinas sincrónicas son sin duda alguna los elementos más importantes dentro de los sistemas eléctricos. Entre los papeles que pueden desempeñar se destacan: generador síncrono, motor síncrono, compensador síncrono. Estas máquinas se caracterizan porque el rotor gira a la misma velocidad que el flujo magnético existente en el entrehierro.

La función principal del generador síncrono es convertir la energía mecánica en energía eléctrica. Es posible generar una señal adecuada de voltaje a una

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

frecuencia definida manteniendo la velocidad de rotación constante, por tanto, es necesario que el generador este acoplado a una turbina la misma que se encargará de regular el flujo de energía primaria para mantener la velocidad constante.

El generador es un elemento electromecánico y dinámico, por ende, su estudio aparte de estar relacionado con señales eléctricas también está relacionado con señales mecánicas.

- Los devanados del estator están distribuidos a lo largo de las ranuras en la medida de que los efectos mutuos con el rotor sean considerados.
- Las ranuras del estator no originan una variación apreciable de las inductancias del rotor en cualquier posición que este se encuentre.
- La histéresis magnética es insignificante.
- Los efectos de la saturación magnética son insignificantes.

En la figura 2.4 se puede observar la representación de un generador sincrónico en el área de trabajo del Power Factory.

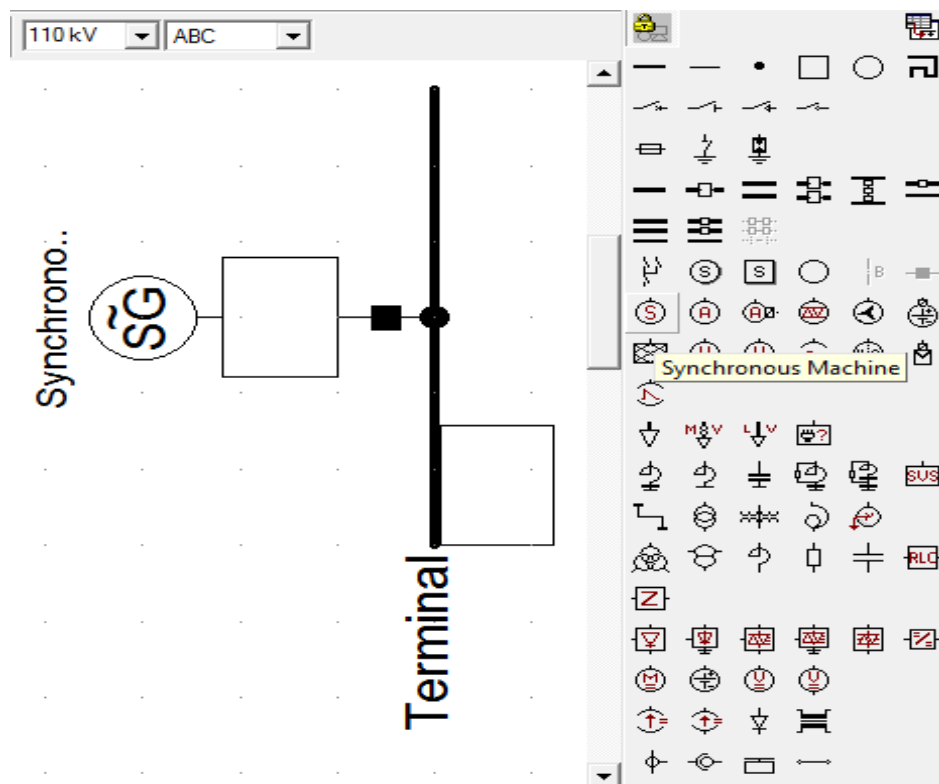


Figura 2.4 Generador sincrónico.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

2.2.3 Transformadores

Los transformadores de potencia permiten originar varios niveles de voltaje a través del sistema, por razones económicas, técnicas y de eficiencia no es correcto transportar la energía a grandes distancias en un nivel de voltaje bajo, por otro lado, razones físicas y de aislamiento impiden construir alternadores que puedan generar voltajes arriba de los 22 kV. Si se transmitieran grandes potencias a niveles de voltaje de las decenas de kilovoltios las corrientes serían muy altas al igual que las pérdidas de potencia. También se debe considerar que sería imposible entrar con niveles de voltaje altos a la ciudad y peor aún servir a los usuarios. Las razones mencionadas hacen que el uso de los transformadores en los SEP sea imprescindible (FITZGERALD,2005).

Cabe señalar que los transformadores son utilizados en muchos campos de acción en los que no necesariamente los circuitos acoplados están a diferente voltaje.

Se define al transformador como un dispositivo electromagnético que permite transformar la magnitud voltaje a través de inducción magnética.

2.2.4 Transformadores con Tap

La relación de transformación de un transformador puede ser cambiada con la ayuda de *taps* dispuestos en el lado de bajo voltaje o en lado de alto voltaje, un *tap* no es más que un terminal conectado en una posición diferente a la nominal a lo largo de los devanados, con esto se consigue escoger un número mayor o menor de espiras y de esta manera cambiar la relación de transformación.

Estos transformadores tienen la cualidad de controlar el flujo de reactivos a través de una red, cabe señalar que los transformadores no generan reactivos y por ende para mejorar el voltaje en una barra redirigen los reactivos pudiendo ocasionar, caídas de voltaje en otras zonas.

En la figura 2.5 se aprecia la representación de un transformador y su simbología en las herramientas de dibujo.

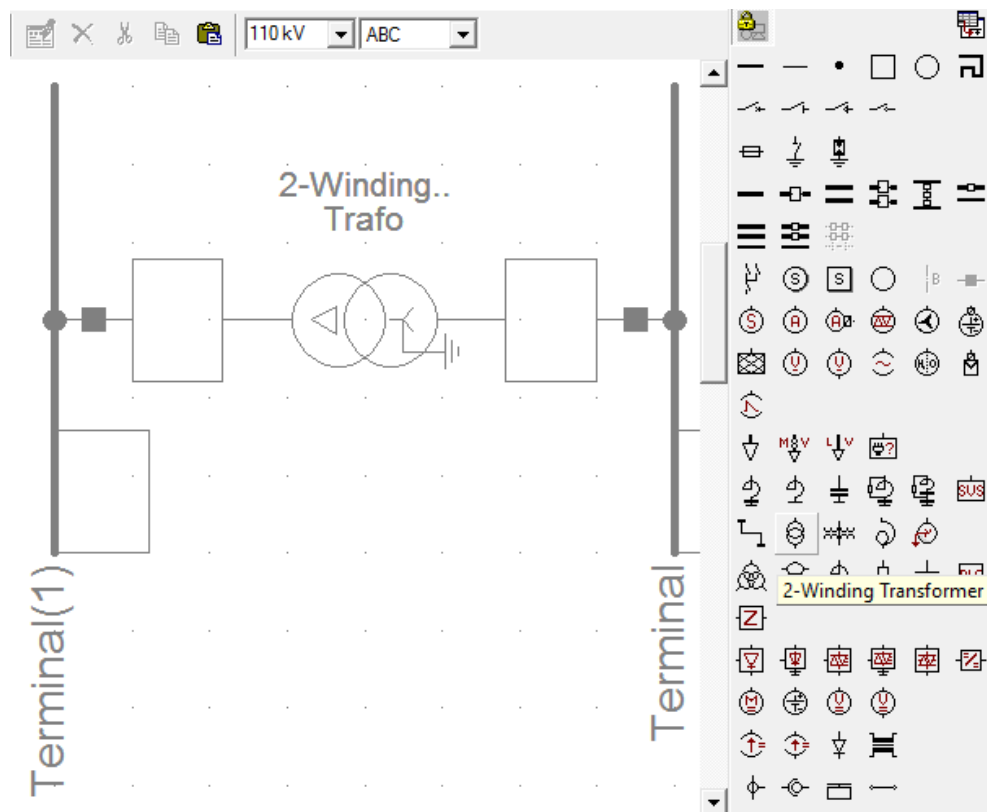


Figura 2.5 Representación de un transformador.

2.2.5 Líneas

Debido a la facilidad de transformación que presenta la corriente alterna (CA) los SEP a nivel mundial utilizan este tipo de corriente para transmitir potencia. El único inconveniente de la CA con respecto a la DC es que genera fenómenos electromagnéticos como: autoinductancia, capacitancia e inductancias mutuas en los conductores de las Líneas de Transmisión lo cual dificulta el análisis.

El Power Factory permite calcular los parámetros de cualquier línea de transmisión e incluso de distribución. Los datos que arroja el programa son las matrices de impedancia y secuencia con las cuales es posible especificar el equivalente. Como datos de entrada se necesita la disposición geométrica de los conductores y los parámetros eléctricos de los mismos.

En la figura 2.6 se muestra una representación de una línea, sus fases y su simbología en las herramientas de dibujo.

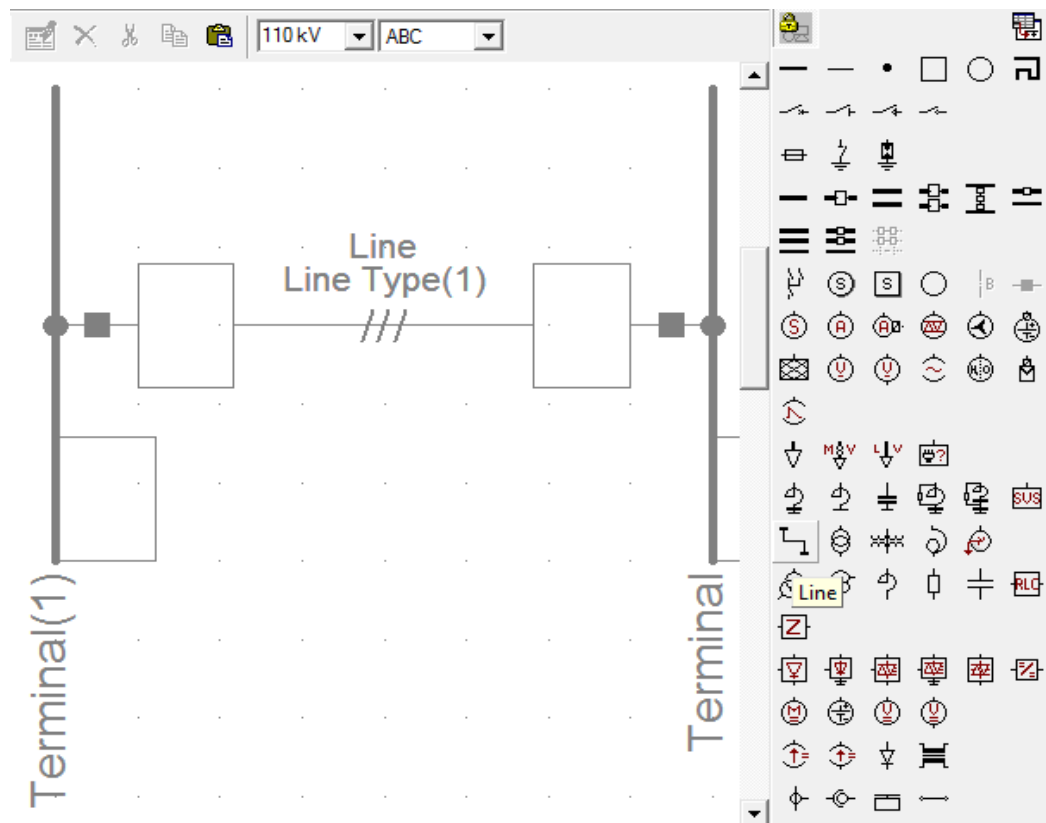


Figura 2.6 Representación de una línea.

2.2.6 Cargas

Comúnmente, las cargas están dispersas a través de los sistemas de distribución, de modo que estos componentes requieren de modelar la red de distribución, además de considerar su naturaleza aleatoria para conectarse y desconectarse del sistema y que pueden ser monofásicas o trifásicas. Esto sin duda, haría más difícil el análisis de los sistemas eléctricos.

Para sistemas eléctricos de potencia pueden modelarse de acuerdo al tipo de estudio que se desea analizar. Por ejemplo, si se pretende realizar estudios del comportamiento dinámico del sistema, entonces un modelo de carga dependiente de la frecuencia es adecuado o si el estudio es acerca de la inestabilidad de voltaje, entonces debe emplearse modelos de carga dependientes del voltaje.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

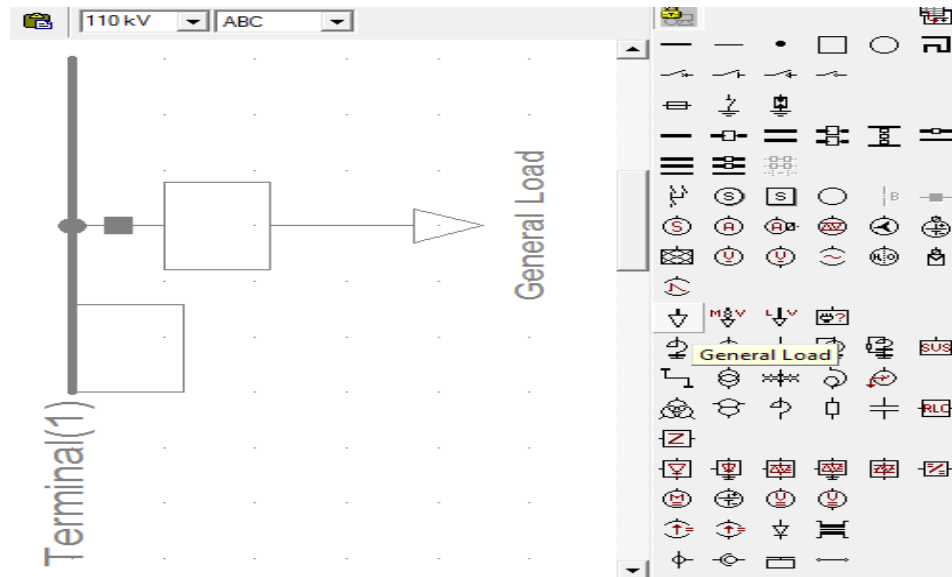


Figura 2.7 Representación de una carga.

2.3 Introducción de la herramienta a utilizar

Entre las herramientas más utilizadas se encuentran el flujo de potencia y corto circuito ya que las mismas son las que permiten una apreciación más detallada de los resultados pertinentes para una correcta estabilidad en el sistema (Ruiz, 2006).

2.3.1 Flujo de potencia

Como se muestra en la figura 2.8 Opciones Básicas permite establecer si se va a simular una red cuya carga esta balanceada, para este caso el software utilizara la impedancia de secuencia positiva de todos los elementos para resolver el flujo de potencia. La opción desbalanceada utilizara las impedancias de secuencia positiva negativa y cero para resolver el flujo.

El recuadro de control de potencia reactiva, permite al programa manipular automáticamente los *taps* de los transformadores, la compensación reactiva (*shunts*), o el despacho de reactivos de los generadores para lograr que los voltajes en las barras estén dentro de los límites. Si se activa la opción Considerar Límites de Potencia Reactiva el programa despachara a los generadores con un valor de potencia reactiva que está dentro de sus límites.

El programa está configurado para que el flujo de potencia sea calculado a través del método Newton Ráspón, se puede seleccionar otro tipo de cálculo en la ficha de opciones avanzadas.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

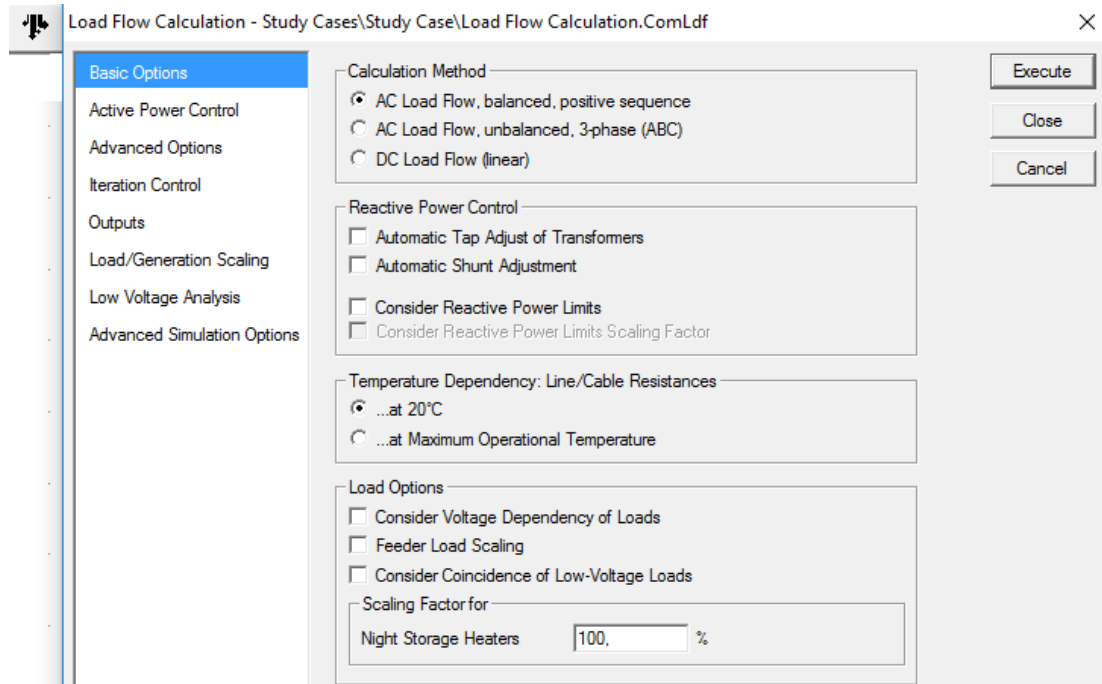


Figura 2.8 Opciones Básicas del flujo de potencia

2.3.1.1 Estabilidad de voltaje

La estabilidad de voltaje se define como la capacidad del sistema para mantener los voltajes dentro de valores aceptables en todas las barras, cuando el sistema está en operación normal e incluso cuando ha sido sometido a una perturbación transitoria (Gonzáles, 2006).

Los sistemas eléctricos entran en este tipo de inestabilidad debido a la incapacidad que tiene el sistema de generar o transportar adecuadamente los niveles de potencia requeridos a través de las reactancias de las redes y demás elementos.

La inestabilidad por voltaje se puede manifestar en las siguientes formas:

- Caída progresiva y descontrolada de voltaje en una o varias barras del sistema.
- El sistema será inestable si al menos en una barra del sistema un incremento en la potencia reactiva inyectada produce decremento de la magnitud de voltaje.
- Tomando en cuenta que en condición operativa estable el voltaje de una barra se incrementa con forme la inyección de potencia reactiva.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

2.3.2 Cortocircuito

Todos los sistemas eléctricos son susceptibles a fallas, estas pueden tener su origen en fenómenos naturales o en desperfectos en los elementos que componen el sistema. El análisis de cortocircuitos consiste en determinar los picos de corriente producidas por fallas en puntos específicos de la red.

Para iniciar el estudio es prudente citar las causas por las cuales se pueden producir fallas en los sistemas:

- Fallas en elementos como aisladores, transformadores o generadores debido al envejecimiento del aislamiento por la exposición prolongada a altas temperaturas.
- Descargas a través de los aisladores debido al efecto corona,
- Sobrevoltajes
- Aisladores defectuosos.
- Sobrevoltajes transitorios debidos a maniobras en la red o por tormentas eléctricas.
- Accidentes comunes como caídas de árboles, aves que cortocircuitan las redes.

Cabe indicar que este tipo de fallas pueden producir cortocircuitos de corta duración o de larga duración en la red.

El Power Factory permite utilizar diversos modelos para realizar estudios de cortocircuitos, los cálculos se realizan según la norma que se desee utilizar IEC, ANSI y otras, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Normas consideradas para el cálculo de cortocircuito.

SIGLAS	SIGNIFICADO	PAÍS
VDE	<i>Vervand Deutsher Elektrotechniker</i>	ALEMANIA
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>	EE.UU
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineer</i>	EE.UU
IEC	<i>International Electromechanical Intitute</i>	EE.UU

También está disponible un cálculo denominado Método Completo.

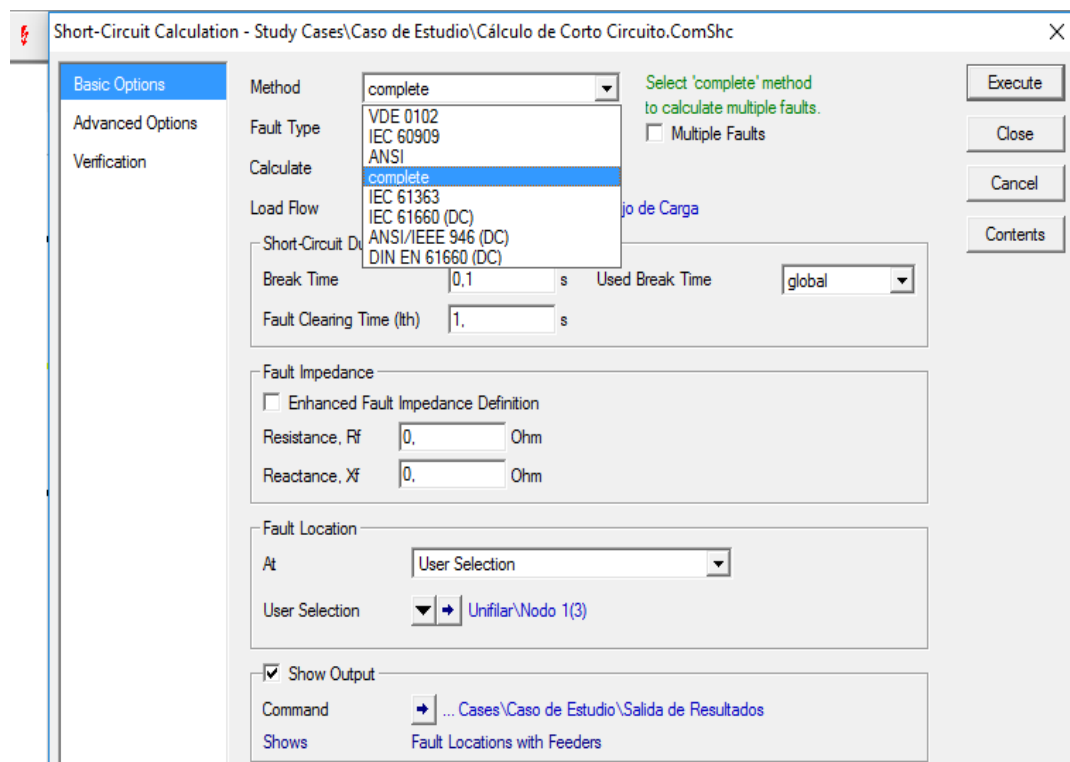
Capítulo 2 Instructivo Metodológico

2.3.2.1 Método Completo

El método completo tiene su base en la superposición, las corrientes de cortocircuito son calculadas en base a los datos emitidos por un flujo de potencia que se lleva a cabo antes de que la falla se ejecute.

En el flujo de potencia se toman en cuenta las condiciones en las que operan los generadores y sus reguladores, la posición de los *taps* de los transformadores y el estado de interruptores. A partir de estas condiciones es posible obtener el voltaje de prefalla de la barra en cuestión.

En la figura 2.9 se pueden observar los diferentes métodos que podemos seleccionar en la ventana de datos de cortocircuito y su simbología en la parte



superior izquierda de la figura.

Figura 2.9 Ventana de datos de cortocircuito.

2.4 Análisis de los resultados

Los resultados esperados en un sistema eléctrico de potencia luego de correr en el software tanto flujo de potencia como cortocircuito dependen de los datos introducidos en el sistema como los métodos y normas seleccionados para su cálculo.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

2.4.1 Resultados del flujo de potencia

Una vez que se ha ingresado el SEP es posible analizar el comportamiento de los voltajes, pérdidas, flujo de potencia activa y reactiva mediante la variación de: *taps* de los transformadores, despacho de generadores, salida de circuitos, compensación reactiva inductiva y capacitiva. Es necesario recalcar que si se trata de un sistema balanceado es necesario especificar los datos de secuencia positiva, mientras que para sistemas desbalanceados debe especificarse los datos de todas las secuencias. Los datos que se pueden analizar están especificados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Datos esperados en un Flujo de Potencia.

Variables	Unidad	Descripción	Variables	Unidad	Descripción
ur	pu	Voltaje parte real	Pcomp	MW	Pérdidas de potencia activa en el generador
ui	pu	Voltaje parte imaginaria	Qcomp	Mvar	Pérdidas de potencia reactiva en el generador
u	pu	Voltaje pu	Pflow	MW	Flujo de potencia activa
upc	%	Voltaje Magnitud	Qflow	Mvar	Flujo de potencia reactiva
u1	pu	Voltaje secuencia positiva	umin	pu	Voltaje mínimo de las tres fases
u1pc	%	Voltaje secuencia positiva	Umin	kV	Voltaje mínimo de las tres fases
u1r	pu	Voltaje secuencia positiva parte real	dumax	Máx	Máxima caída de tensión en el alimentador
u1i	pu	Voltaje secuencia positiva parte imaginaria	dUmax	kV	Máxima caída de tensión en el alimentador
U	kV	Voltaje línea neutro magnitud	dUImax	kV	Máxima caída de tensión en el alimentador línea - línea
U1	kV	Voltaje línea, magnitud	U1min	kV	Tensión línea, magnitud
phiu	deg	Angulo del fasor de voltaje	dphidP	deg/MW	Sensibilidad dphi/dP
du	%	Desviación del voltaje nominal	dphidQ	deg/Mvar	Sensibilidad dphi/dQ
Pgen	MW	Generación potencia activa	dvdP	Vpu/MW	Sensibilidad dv/dP
Qgen	Mvar	Generación potencia reactiva	dvdQ	Vpu/Mvar	Sensibilidad dv/dQ
Pmot	MW	Carga del motor, potencia activa	levecQ		Autovector izquierdo del modo Q
Qmot	Mvar	carga del motor, potencia reactiva	revecQ		Autovector derecho del modo Q
Pload	MW	Carga general, potencia activa	partQ		Factor de participación del modo Q

2.4.2 Resultados del análisis de cortocircuito.

Para el análisis de los resultados de cortocircuitos en el software Power Factory se deben tener en cuenta las o la norma seleccionada para un caso de estudio específico y los tipos de fallas seleccionados para este caso y dependiendo de eso obtenemos los datos específicos correspondientes a la selección realizada. Los datos esperados luego de un corto circuito pueden ser los que se observan en la tabla 2.3

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

2.4.2.1 Falla Trifásica

En este tipo de falla las tres fases se cortocircuitan por ende el circuito presenta una impedancia balanceada al paso de la corriente. Aunque la falla sea trifásica a tierra la corriente circulará por las tres fases ya que los circuitos eléctricos le ofrecen menor resistencia. En la zona cercana a la falla los voltajes se reducen a 0.

2.4.2.2 Falla Bifásica

Al cortocircuitarse dos fases del sistema se produce una falla que desequilibra al sistema, el desbalance producido origina la aparición de corrientes de secuencia negativa.

2.4.2.3 Falla Bifásica Tierra

En esta falla dos fases cortocircuitadas se aterrizan (hacen contacto con tierra). Una corriente circula hacia y vuelve a ingresar al sistema a través de cualquier puesta a tierra repartiéndose en cada fase. Este fenómeno produce la aparición de las corrientes de secuencia cero en las fases del sistema.

2.4.2.4 Falla Monofásica a Tierra

En esta falla toda la corriente de cortocircuito se desvía hacia tierra y vuelve ingresar al sistema a través de cualquier puesta a tierra. El voltaje de la fase aterrizada se vuelve cero en las zonas cercanas a la falla.

2.4.2.5 Factor de voltaje c

Es la relación entre la fuente equivalente de voltaje y el voltaje nominal del sistema dividido por 3, este factor es introducido en los cálculos debido a las siguientes razones:

- Para considerar las variaciones de voltaje dependiendo del tiempo y lugar en donde se suscita la falla.
- Para considerar el cambio de *taps* en los transformadores.
- Para considerar el efecto de las cargas y capacitancias omitidas en el proceso de cálculo.
- Para considerar el comportamiento subtransitorio de generadores y motores.
- Para considerar el error efectuado en algunas las aproximaciones.

Capítulo 2 Instructivo Metodológico

Tabla 2.3 Datos esperados luego de un cortocircuito.

Variables	Unidad	Descripción	Variables	Unidad	Descripción
Ikss	kA	Corriente inicial de cortocircuito	u1r	pu	Voltaje Secuencia Positiva, parte real
I	kA	Corriente de cortocircuito	u1i	pu	Voltaje Secuencia Positiva, parte Imaginaria
phi	deg	Corriente de Fase, Angulo	U	kV	Magnitud del voltaje línea neutro
Skss	MVA	Potencia inicial de cortocircuito	U1	kV	Magnitud de voltaje línea -línea
ip	kA	Corriente pico de cortocircuito	phiu	deg	Angulo del fasor de voltaje
Ib	kA	Corriente de interrupción de cortocircuito	du	%	Desviación del voltaje
Sb	MVA	Potencia de interrupción de cortocircuito	urpref	pu	Voltaje de prefalla, parte real
Ik	kA	Corriente de estado estable de cortocircuito	uipref	pu	Voltaje de prefalla, parte imaginaria
Ith	kA	Corriente térmica equivalente de cortocircuito	upref	pu	Voltaje de prefalla, módulo
R	ohm	Impedancia de cortocircuito parte real	uprefpc	%	Voltaje de prefalla, módulo
X	ohm	Impedancia de cortocircuito parte Imaginaria	Upref	kV	Voltaje de prefalla fase -tierra, módulo
Z	ohm	Impedancia de cortocircuito magnitud	U1pref	kV	Voltaje de prefalla fase -fase, módulo
phiz	deg	Generación potencia activa	phiupref	deg	Ángulo del fasor de voltaje de prefalla fase-tierra
rSbase	pu/Sbase	Impedancia de cortocircuito parte real	phiui	deg	Angulo entre el voltaje y la corriente
xSbase	pu/Sbase	Impedancia de cortocircuito parte Imaginaria	cfac		Factor de voltaje
zSbase	pu/Sbase	Impedancia de corto circuito magnitud	idc	kA	Componente DC
ur	Pu	Voltaje, parte real	iasy	kA	Corriente de Interrupción Asimétrica
ui	Pu	Voltaje, parte imaginaria	Ithload	%	Nivel de carga, Corriente térmica equivalente
u	Pu	Magnitud de voltaje	Ipload	%	Nivel de carga, Corriente pico de cortocircuito
upc	%	Magnitud de voltaje	Ithrtk	kA	Corriente nominal de corto tiempo
u1	p.u	Magnitud de voltaje	Tn	ms	Constante de tiempo de la red

2.5 Conclusiones

En el capítulo se expusieron en forma de pasos escalonados los principales elementos a desarrollarse en la metodología, explicando cada uno de los elementos que comprenden la realización de un proyecto. También se proporcionó información sobre todos los posibles resultados a esperar para el cálculo de flujo de potencia como para el de cortocircuito.

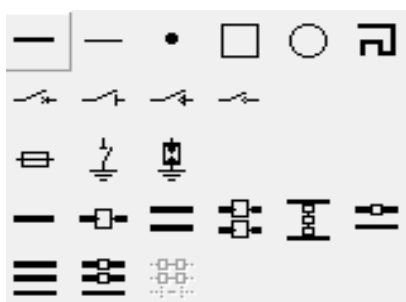
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL CASO TEÓRICO DE ESTUDIO

3.0 Introducción

En este capítulo se desarrollará un caso de estudio teórico sobre la base de la metodología anteriormente expuesta. En él se realizará la edición básica de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) del cual se desglosará cada elemento, tratando de dar una explicación lo más detallada posible, pero a su vez con un lenguaje ameno y sencillo para la comprensión de las personas que por primera vez se enfrentan a un software con estas potencialidades.

3.1 Terminales de una red

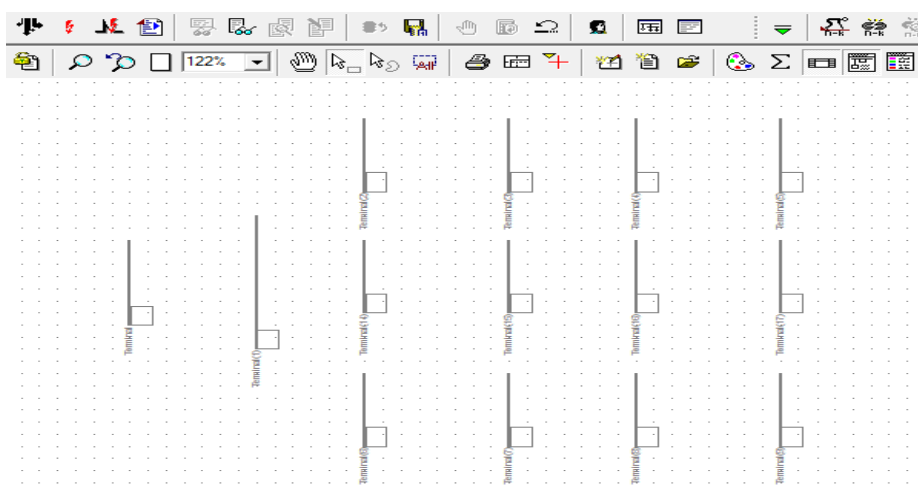
Para comenzar el diseño de una red de potencia primero se insertan todos los terminales que para este caso de estudio son catorce los que se necesitan, para esto se selecciona el botón **terminal** que se encuentra en la parte superior



izquierda de las herramientas de dibujo como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1 Botón terminal.

Para insertar el terminal solamente damos clic sobre su botón y pinchamos en

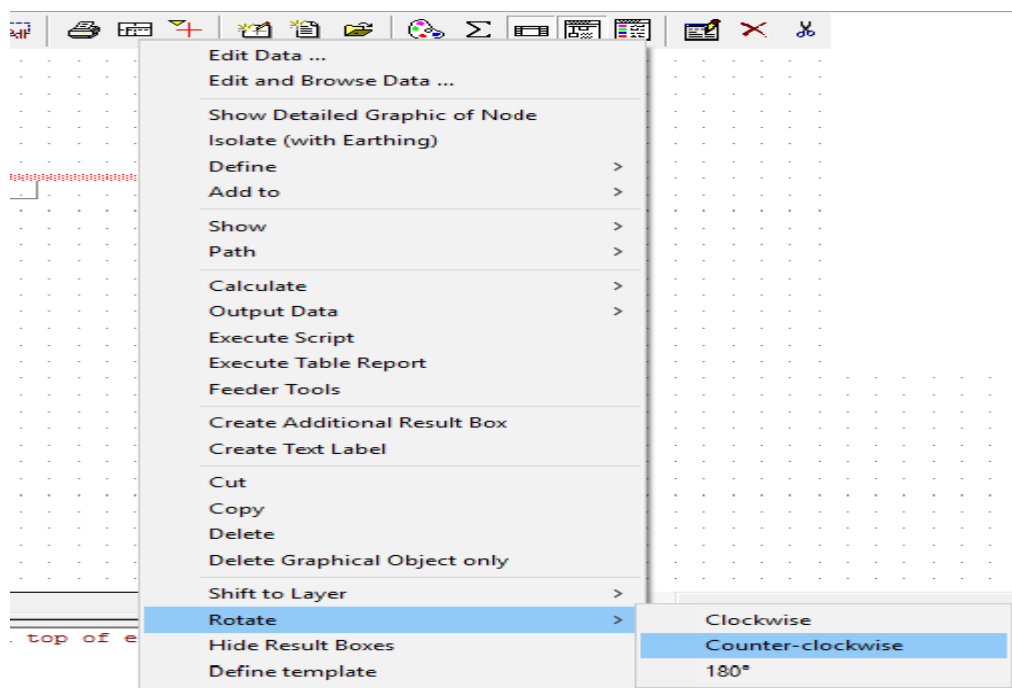


Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

el área de trabajo como se muestra en la figura 3.2.

Figura 3.2 Inserción de terminales.

Luego para hacer más fácil la confección y la estética del circuito rotamos el terminal, esto se logra dando clic derecho sobre el mismo y en la opción rotar

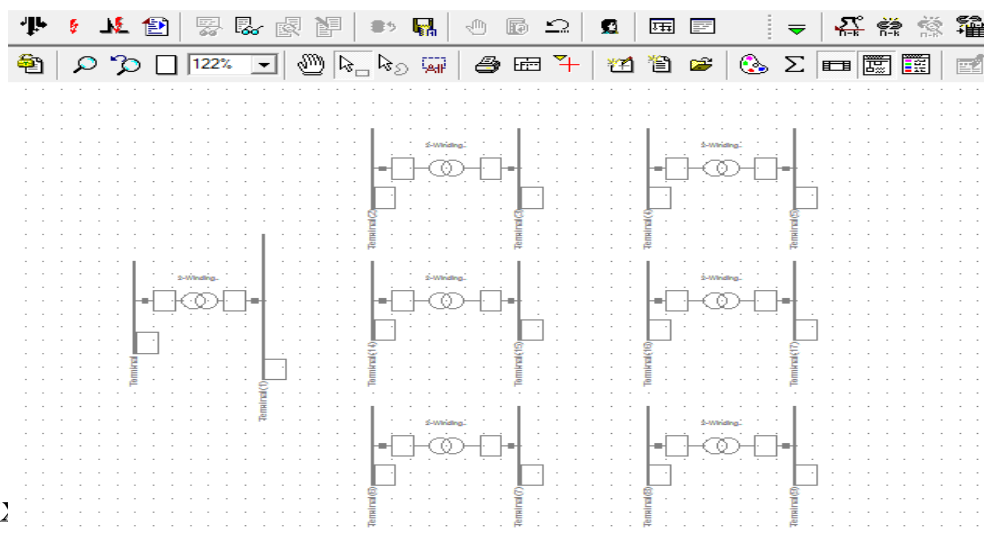


seleccionamos el sentido anti horario como se muestra en la figura 3.3.

Figura 3.3 Rotación de terminales.

3.2 Inserción de transformadores

Una vez puesto los terminales en la posición correcta se procede a insertar los transformadores, que para este caso se utilizarán siete trifásicos de dos



Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

devanados.

Figura 3.4 Inserción de transformadores.

Los transformadores se encuentran en las herramientas de dibujo y al igual que los terminales, dando clic sobre su opción y luego en el área de trabajo se colocan entre dos terminales cada uno de estos como se muestra en la figura 3.4.

3.3 Dibujo de líneas

Para el diseño de la línea se realiza el mismo procedimiento en las herramientas de dibujo y se colocan entre los terminales deseados, como se muestra en la figura 3.5

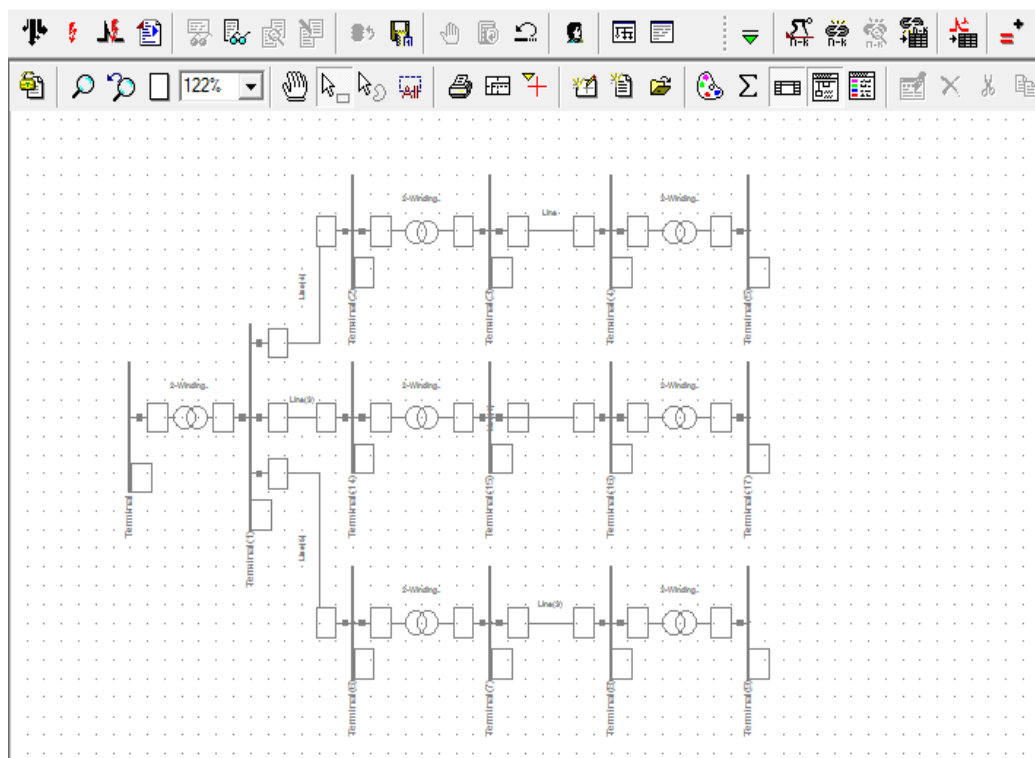


Figura 3.5 Inserción de líneas.

3.4 Dibujo del generador y la carga

Una vez dibujados los terminales, los transformadores y las líneas, lo que nos resta plasmar en el diseño del circuito son las cargas y el generador, esto se realiza siguiendo el mismo procedimiento que para los demás elementos.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

Las cargas seleccionadas para este caso son de tipo general y un generador de tipo síncrono como se muestra en la figura 3.6.

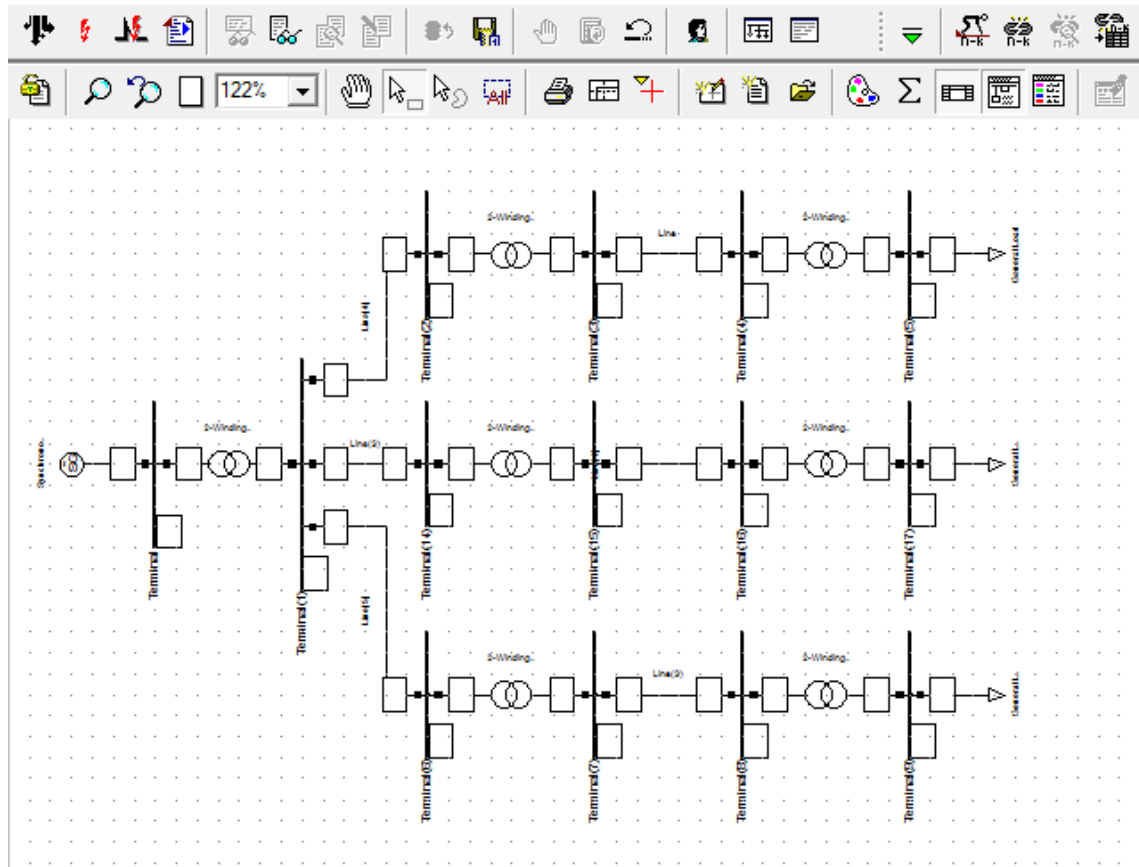


Figura 3.6 Inserción de carga y generador.

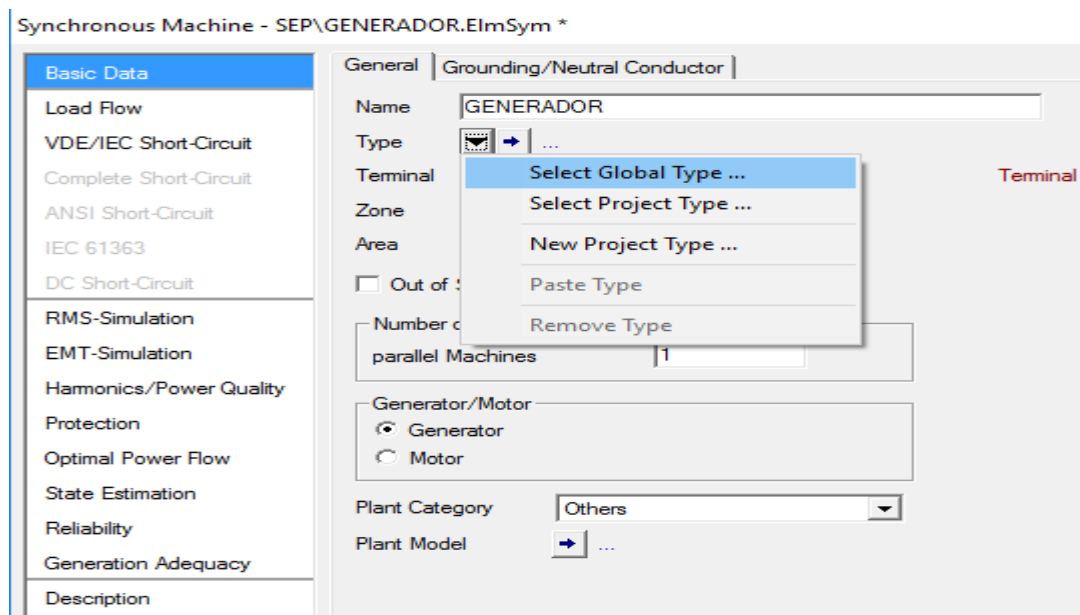
3.5 Datos de un generador

Para el llenado de los datos de cada elemento del circuito se empezará desde el generador hasta la carga sin saltar ningún elemento ya que luego se puede olvidar y traer errores en el funcionamiento y por supuesto en los resultados.

Para llenar los datos del generador damos doble clic sobre el mismo, dónde aparece la (figura 3.7), en la cual pinchamos en la opción *Basic Data* y le introducimos el nombre que se desee, para este caso se escogió *Generador*; luego para seleccionar el tipo pinchamos en el botón negro de esta ventana y se selecciona el tipo que se desee.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

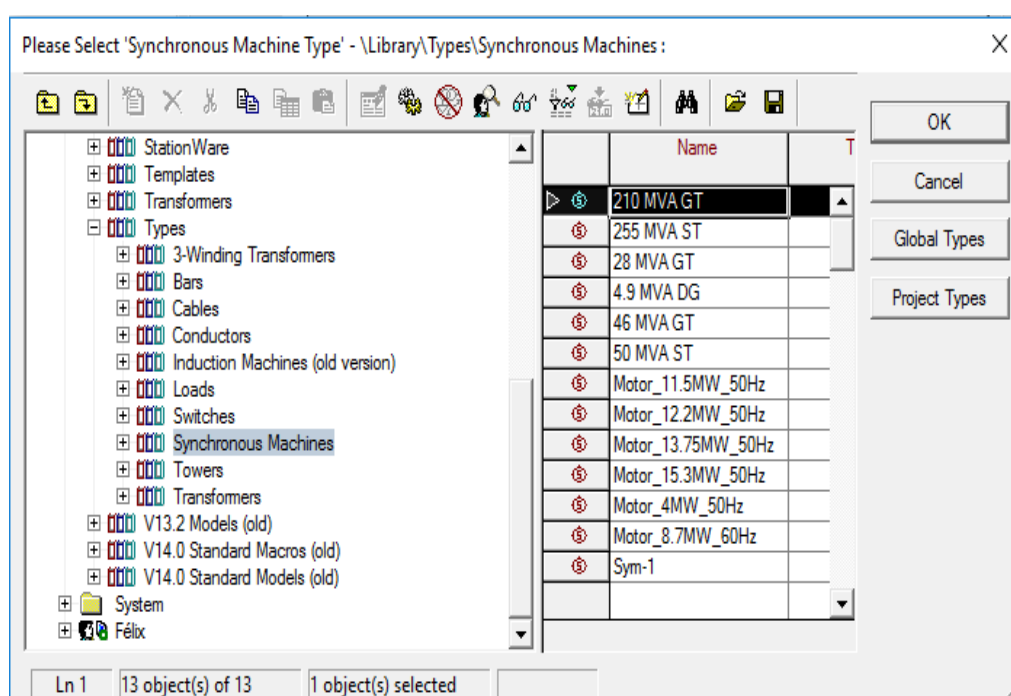
Para este caso se escogió uno de tipo global, porque si se desea editar un generador tenemos que conocer cuáles son los parámetros para realizar las



curvas de capacidad y capacidad y como se seleccionó uno de tipo global ya se han llenado automáticamente.

Figura 3.7 Selección del tipo de generador.

Luego al seleccionar el generador de tipo global aparece la ventana de la (figura 3.8), donde se selecciona el valor de la potencia deseado el cual para



Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

este caso fue de 210 MVA y presionamos ok.

Figura 3.8 Selección de potencia.

3.6 Edición de los terminales

Para la edición de los terminales seguimos el mismo procedimiento, dando doble clic sobre un terminal, poniéndole el nombre deseado y su valor de tensión como se muestra en la figura 3.9.

Terminal - práctica\Barra A.ElmTerm

Basic Data

Name: Barra A

Type: [dropdown]

Zone: [dropdown]

Area: [dropdown]

☐ Out of Service

System Type: AC Usage: Busbar

Phase Technology: ABC

Nominal Voltage

Line-Line: 15.75 kV

Line-Ground: 9.093266 kV

☐ Earthed

OK Cancel Jump to ... Cubicles

Figura 3.9 Datos de terminales.

Ya que para el llenado de las demás terminales se procede de la misma forma los valores de las demás se plasmaron en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valores de terminales.

Nombre	Barra A	Barra B	Barra C	Barra D	Barra E	Barra F
Tensión kV	15.75	220	220	60	60	10
Nombre			Barra C1	Barra D1	Barra E1	Barra F1
Tensión kV			220	60	60	10
Nombre			Barra C2	Barra D2	Barra E2	Barra F2

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

Tensión kV			220	60	60	10
------------	--	--	-----	----	----	----

3.7 Edición de los transformadores

Para la edición de los parámetros de los transformadores se procede dándole doble clic sobre este, luego se pone el nombre que para este caso fue *Trafo 1*, luego para seleccionar el tipo escogemos la opción nuevo proyecto como se muestra en la (figura 3.10) y seguido a esto aparece una nueva ventana donde procedemos a llenar los datos del mismo como se muestra en la figura 3.11.

Figura 3.10 Selección del tipo de transformador.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

Figura 3.11 Datos del transformador.

Como se muestra en la figura 3.11 los datos del transformador 1 son los siguientes: Nombre: Trafo 15.75/220kV, trifásico con una potencia de 250 MVA y una frecuencia de 60Hz, el lado de alta del transformador es de 220kV y el lado de baja es de 15.75kV, su tensión de cortocircuito es de 16%, en el grupo de conexiónado el lado de alta está en estrella aterrado, el lado de baja en delta y su desfasaje es de 150 grados. A los demás transformadores se les introducen los valores de la misma forma por lo cual sus datos se plasmaron en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Datos de los transformadores.

Transformadores	Número (2, 4, 6)	Número (3, 5, 7)
Nombre	Trafo 220/60 kV	Trafo 60/10 kV
Fases	Tres	Tres
Potencia	250 MVA	20 MVA
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Lado de alta	220 kV	60 kV
Lado de baja	60 kV	10 kV
Tención de cortocircuito	16%	10%
Conexión en alta	Delta	Delta
Conexión en baja	Estrella Aterrado	Estrella Aterrado
Desfasaje	150 grados	150 grados

3.8 Datos de la línea

Los datos de la línea se introducen dando doble clic sobre la misma y es cuando aparece la ventana donde se define el nombre, la distancia de la misma que en este caso es de 50km y su tipo que para este caso es nuevo proyecto

Basic Data

Load Flow

VDE/IEC Short-Circuit

Complete Short-Circuit

ANSI Short-Circuit

IEC 61363

DC Short-Circuit

RMS-Simulation

EMT-Simulation

Harmonics/Power Quality

Optimal Power Flow

Reliability

Generation Adequacy

Tie Open Point Opt.

Cable Sizing

Name: Linea BC

Type: Equipment Type Library\LT 220 kv

Terminal i

Terminal j

Zone

Area

☐ Out of Service

Number of parallel Lines: 1

Parameters

Thermal Rating: ...

Length of Line: 50 km

Derating Factor: 1

Type of Line: Overhead Line

Line Type (TypLne)

Tower Type (TypTow)

Tower Geometry Type (TypGeo)

Cable Definition (TypCabsys)

Rated Current (act.): 1 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1: 25.12469 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle: 84.28941 deg

Pos. Seq. Resistance, R1: 2.5 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1: 25. Ohm

Zero Seq. Resistance, R0: 25. Ohm

Zero Seq. Reactance, X0: 75. Ohm

Earth-Fault Current, Ice: 38.10512 A

Earth Factor, Magnitude: 0.727429

Earth Factor, Angle: -18.51715 deg

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

(*Line Type*) como se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.12 Definición del tipo de línea.

Al seleccionar el tipo de línea automáticamente aparece la ventana de la figura 3.13 y pinchando en la opción de los datos básicos se llenan los parámetros eléctricos, que para la primera línea son: Nombre LT 220kV, su nivel de voltaje es de 220kV, con una frecuencia de 60 Hz, el tipo de línea es aérea con una corriente máxima de aproximadamente 1kA, con corriente alterna trifásica sin neutro, su secuencia positiva es $R_1=0.05\Omega/\text{km}$, y su secuencia cero es

$R_0=0.5\Omega/\text{km}$, sus reactancias son $X_1=0.5 \Omega/\text{km}$ y $X_0=1.5 \Omega/\text{km}$.

Figura 3.13 Ventana de datos básicos de una línea.

Al llenar todos los parámetros necesarios en la ventana de datos básicos se deben introducir también los de la ventana de *Load Flow*, como se muestra en la figura 3.14. Para este caso se utilizaron los siguientes datos: Máxima temperatura de operación 80°C , el tipo de material del conductor a utilizar es de aluminio, la susceptancia positiva es $B_1=3\mu\text{S}/\text{km}$ y la de secuencia cero es

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

$B_0=2 \mu\text{S/km}$.

Figura 3.14 Ventana de *Load Flow* en la línea.

Los valores de las demás líneas de este caso de estudio se encuentran reflejados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Datos de las líneas.

Número de línea	Líneas 2,4,6	Líneas 3	Líneas 5
Nombre	LT 60kV	LT 220kV	LT 220kV
Distancia	20km	300km	100km
Nivel de voltaje	60kV	220kV	220kV
Frecuencia	60Hz	60Hz	60Hz
Tipo de línea	Aérea	Aérea	Aérea
Corriente máxima	1kA	1kA	1kA
Tipo de corriente	Alterna	Alterna	Alterna
Fases	3	3	3
Neutro	NO	NO	NO
R_1	0.1 Ω/km	0.05 Ω/km	0.05 Ω/km
X_1	0.3 Ω/km	0.5 Ω/km	0.5 Ω/km
R_0	0.5 Ω/km	0.5 Ω/km	0.5 Ω/km
X_0	1 Ω/km	1.5 Ω/km	1.5 Ω/km
B_1	3 $\mu\text{S/km}$	3 $\mu\text{S/km}$	3 $\mu\text{S/km}$
B_0	0 $\mu\text{S/km}$	2 $\mu\text{S/km}$	2 $\mu\text{S/km}$
Máx.Temp de operación	80 °C	80 °C	80 °C
Material del conductor	Aluminio	Aluminio	Aluminio

3.9 Datos de cargas

Para la carga, lo primero es ir al área de sus datos básicos donde se introduce el nombre y su tipo, que para este caso es global. Automáticamente después aparece la ventana de la (figura 2.15), donde se selecciona en la biblioteca del programa el tipo de carga.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

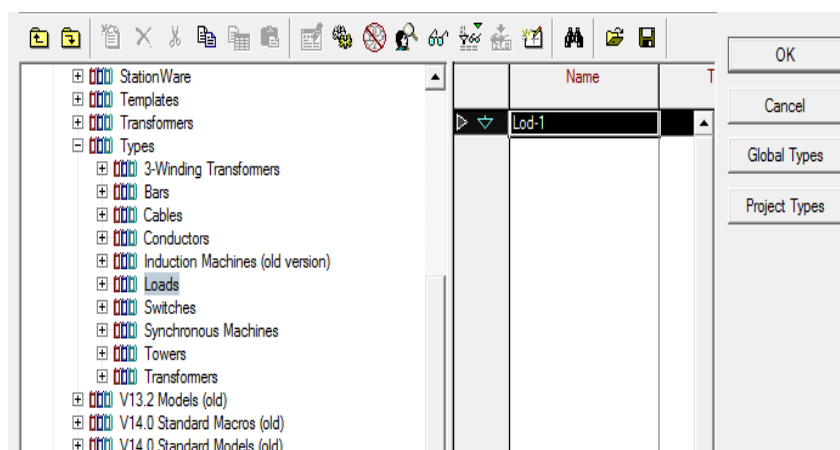


Figura 2.15 Selección de carga.

Una vez seleccionada la carga se debe ir al área de *Load Flow* donde se escoge el tipo de potencia a utilizar, que para este caso la carga número uno fue $S \cdot \cos(\phi)$. Donde $S=16\text{MVA}$ y el $\cos(\phi)=0.95$ como se muestra en la

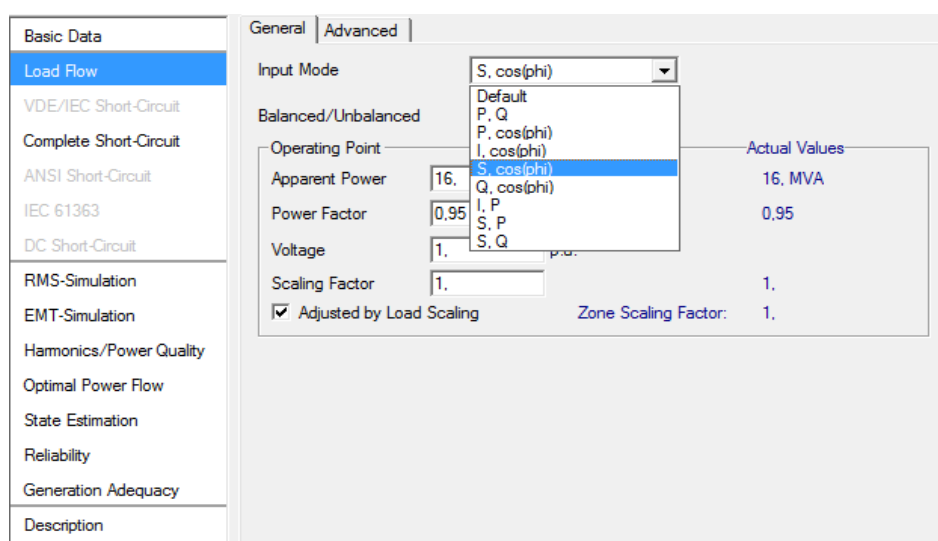


figura 3.16.

Figura 3.16 Selección del tipo de carga.

Los datos de las cargas para este caso de estudio se encuentran reflejados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Datos de carga.

Modo de entrada	Carga	Potencia	$\cos(\phi)$
$S \cdot \cos(\phi)$.	1	16MVA	0.95
$P \cdot \cos(\phi)$.	2	18MW	0.8

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

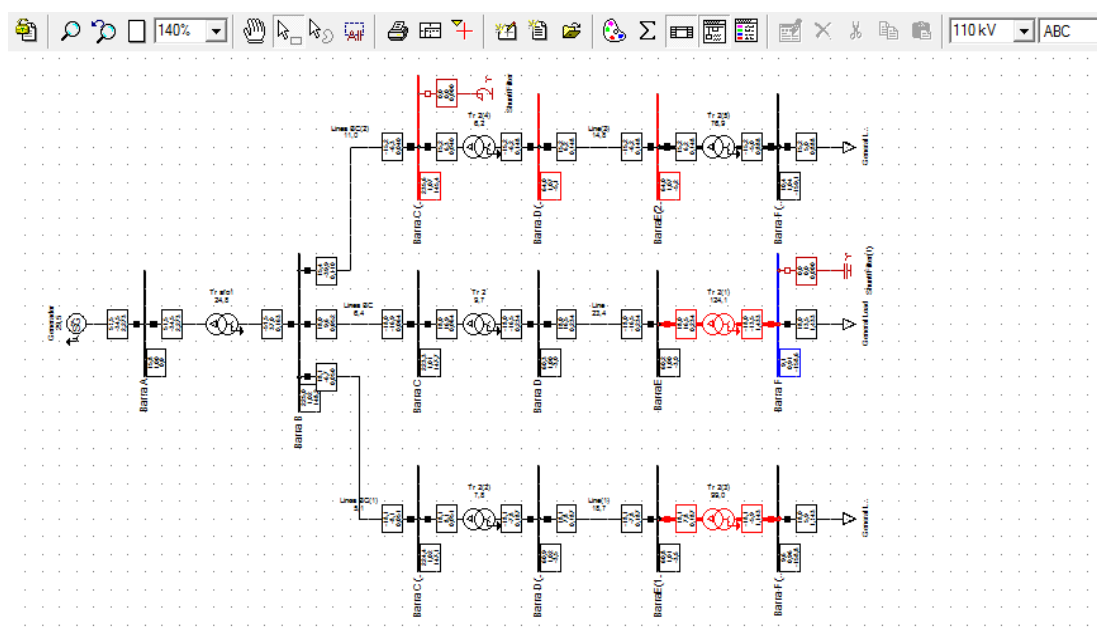
S.cos(phi).	3	19MVA	0.95
-------------	---	-------	------

3.10 Cálculos pertinentes

Una vez diseñado el circuito del caso de estudio y haber introducido cada valor correspondiente para cada elemento del mismo, lo que resta es hacer los cálculos deseados. Para este caso de estudio se realizó una demostración de flujo de potencia con resultados tanto en tablas como en gráficos, para así lograr una estabilidad del sistema.

3.11 Flujo de potencia

Una vez corrido el flujo de potencia lo que se observa en el primer circuito del monolineal son terminales con coloración roja, esto significa que existe una sobretensión en estos terminales. En el segundo circuito la coloración roja del transformador significa que se encuentra sobrecargado al igual que el transformador del tercer circuito, y por último en el segundo circuito se observa un terminal con coloración azul, esto significa una caída de voltaje. Todos estos



aspectos se observan en la figura 3.17.

Figura 3.17 Monolineal luego de correr flujo de potencia.

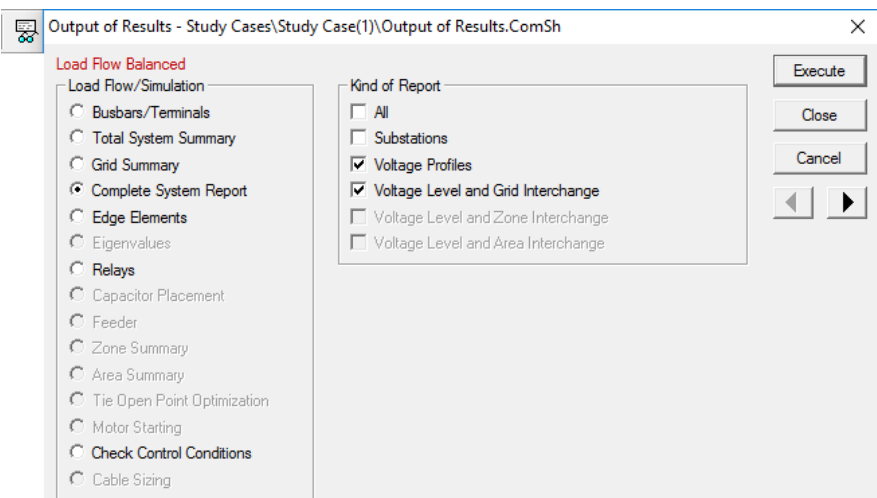
Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

3.11.1 Resultados del flujo de potencia

Para poder observar los resultados del flujo de potencia se presiona en el icono



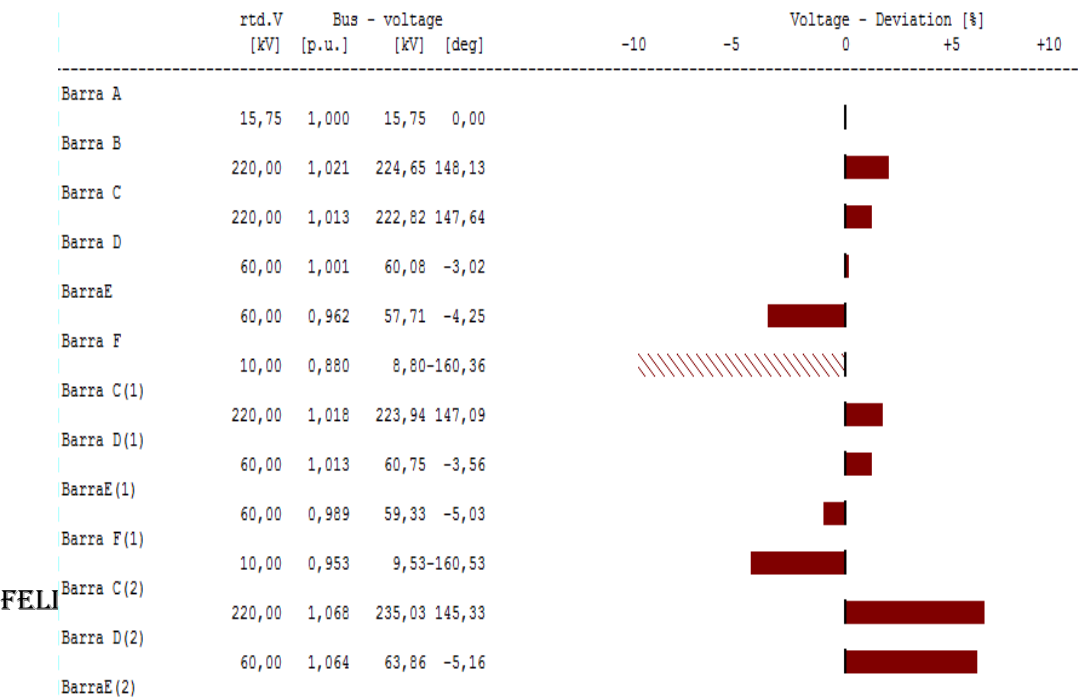
del cual se desprende la ventana de la (figura 3.18), la cual nos permite seleccionar los diferentes tipos de resultados que queremos observar en la ventana de salida. Algunos de las opciones de resultados son un reporte de los terminales que la información brindada es en tablas y un reporte completo del



sistema el cual brinda tanto información en tabla como en gráfico.

Figura 3.18 Ventana para seleccionar resultados de flujo de potencia.

Como se expuso anteriormente el reporte completo del sistema nos brinda tanto información en tabla como en gráfico como se muestra en la (figura 3.19). Por ejemplo, para este caso se muestra un gráfico de los niveles de tensión el



Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

cual nos brinda información de cuanto porciento de tensión está cayendo o sobrepasando cada uno de los terminales y como se puede apreciar algunos pasan de la norma que es $\pm 5\%$.

Figura 3.19 Reporte general de un flujo de potencia.

Otra de las opciones es *Grid Summary* la cual nos brinda el reporte de la (figura 3.20) y en la misma se observa cada uno de los componentes que integran el monolineal, las pérdidas en el sistema que para este caso de estudio son de 0.93 MW. También se puede obtener información de la capacidad instalada, que para este sistema es de 168.00 MW y como el sistema está consumiendo

Grid: práctica		Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	14	No. of Terminals	0	No. of Lines	6
No. of 2-w Trfs.	7	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	1	No. of asyn. Machines	0
No. of Loads	3	No. of Shunts	2	No. of SVS	0		
Generation	=	52,18 MW	-32,16 Mvar	61,30 MVA			
External Infeed	=	0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA			
Inter Grid Flow	=	0,00 MW	0,00 Mvar				
Load P(U)	=	51,25 MW	24,43 Mvar	56,77 MVA			
Load P(Un)	=	51,25 MW	24,43 Mvar	56,77 MVA			
Load P(Un-U)	=	0,00 MW	0,00 Mvar				
Motor Load	=	0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA			
Grid Losses	=	0,93 MW	-56,59 Mvar				
Line Charging	=		-70,61 Mvar				
Compensation ind.	=		0,00 Mvar				
Compensation cap.	=		0,00 Mvar				
Installed Capacity	=	168,00 MW					
Spinning Reserve	=	115,82 MW					
Total Power Factor:							
Generation	=	0,85 [-]					
Load/Motor	=	0,90 / 0,00 [-]					

52.18 MW aún quedan de reserva 115.82 MW.

Figura 3.20 Reporte *Grid Summary*.

3.12 Estabilidad del sistema

Una vez se obtienen los reportes correspondientes en el flujo de potencia lo que resta es tomar la decisión de cuáles son las acciones para corregir las anomalías del sistema y obtener una correcta estabilidad del mismo.

3.12.1 Circuito número uno del caso teórico de estudio

Para este caso de estudio como se explicó anteriormente en el primer circuito del monolineal existían terminales con sobretensión. El valor de la sobretensión

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

en el extremo receptor se debe a la capacitancia de la línea 1 ya que es una línea larga con un valor de 300 Km, por lo que sus efectos capacitivos tienen relevancia en el flujo de potencia. En las figuras 3.21 se muestran los valores del terminal receptor.

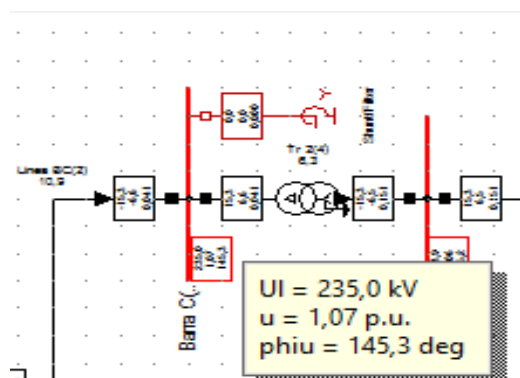
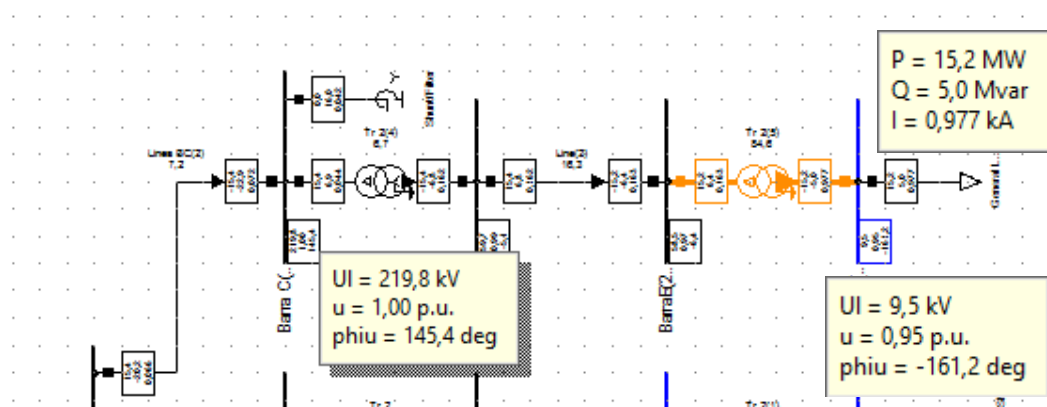


Figura 3.21 Valores de terminal receptor.

¿Porque terminal receptor?: Porque la potencia está fluyendo en sentido desde el generador hacia el terminal, como se puede apreciar en la propia (figura 3.21) el sentido de la flecha.

Para este caso lo que se propuso fue la inserción de un reactor de barra que es más que nada un inductor para controlar esa sobretensión. La propuesta de selección es de 16Mvar ya que es lo que el inductor va a adsorber para mejorar el valor de tensión en la barra, como se muestra en la (figura 3.22). El objetivo de este inductor es que compense el efecto capacitivo de la línea con su efecto

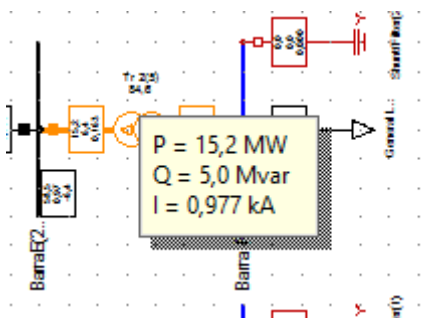


Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

inductivo.

Figura 3.22 Inserción de inductor.

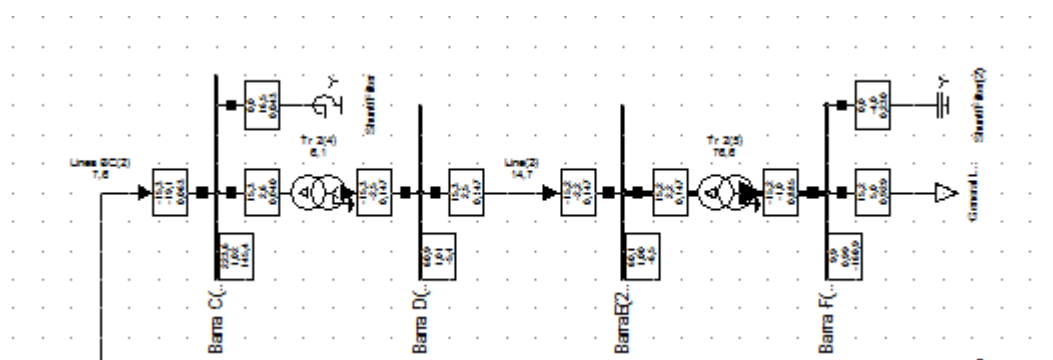
Una vez controlada la sobretensión en el extremo receptor de la línea 1 se



provocó una caída de voltaje en el último terminal de ese propio circuito como lo muestra la propia (figura 3.22), en esta propia figura se ve que la caída de tensión provocada fue de un 5% que está en el límite (González, 1999), pero no es recomendable así que se añadió un condensador en esta barra con un valor de 4Mvar ya que la carga está absorbiendo una energía reactiva de 5Mvar, como lo muestra la figura 3.23.

Figura 3.23 Potencia reactiva de la carga.

Una vez realizado lo propuesto el circuito se encuentra en perfecto estado llevando el nivel de tensión del ultimo terminal que se encontraba en 0.95pu a 0.99pu, el circuito 1 del caso teórico de estudio se encuentra en perfectas



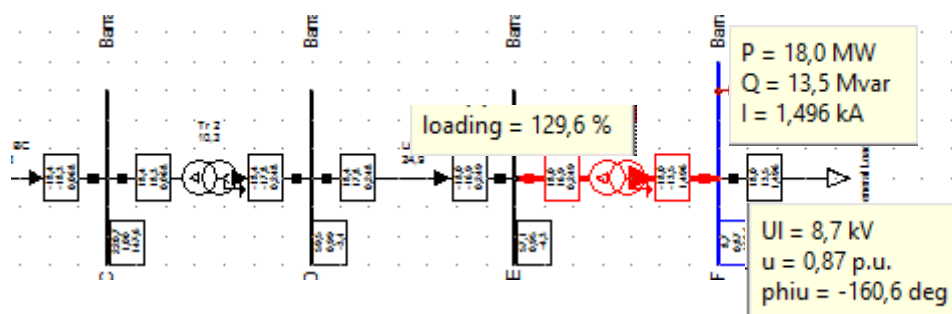
condiciones para operar, como se muestra en la figura 3.24.

Figura 3.24 Circuito 1 del caso teórico de estudio compensado.

3.12.2 Circuito número dos del caso teórico de estudio

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

Para el segundo circuito del caso teórico de estudio lo primero que se observa en la (figura 3.25) es que el transformador de color rojo se encuentra sobrecargado en un 29.6% y en la barra con coloración azul hay presente una



caída de voltaje del 13%.

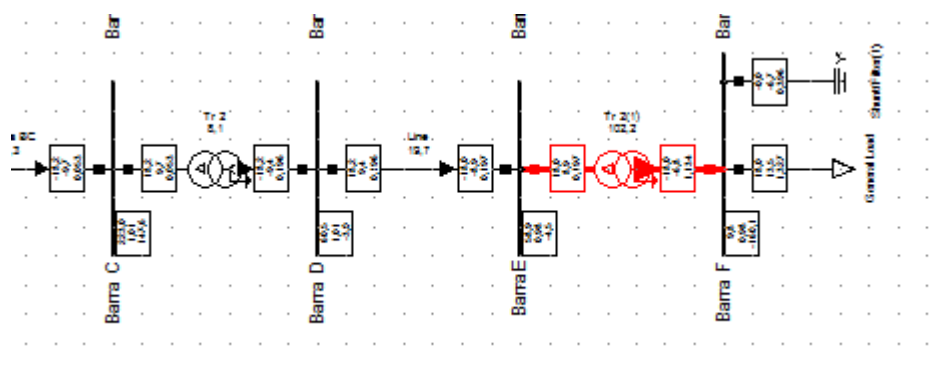
Figura 3.25 Problemas del 2 circuito del caso de estudio.

La propuesta para mejorar el flujo de potencia en el circuito 2 del caso teórico de estudio es la conexión de un condensador en el terminal con bajo voltaje.

Para este caso la carga está consumiendo 13.5Mvar, así que lo ideal fuese escoger un condensador de 13.5Mvar, pero estos tienen un precio significativo y se decidió escoger uno de 7Mvar y con los *taps* del transformador en la posición 3 se regula un poco más la caída de voltaje.

Los resultados de todas las operaciones mencionadas se pueden apreciar en la (figura 3.26) mediante los valores de tensión en (pu) del terminal que estaba afectado por bajo voltaje y el nivel de carga del transformador.

Aunque el transformador se encuentre con una coloración rojo su nivel de



carga ya es aceptable.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

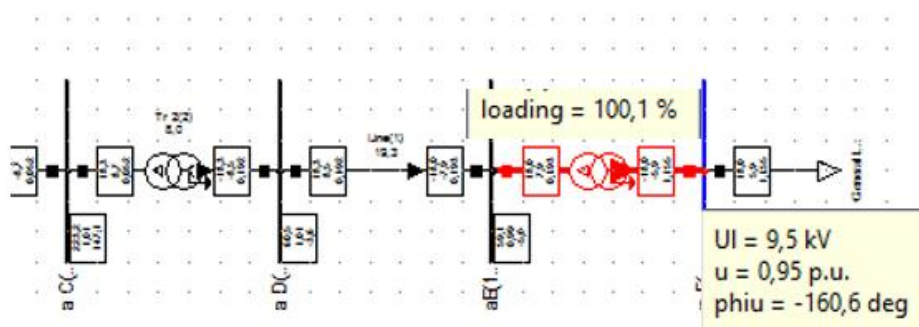
loading = 101,3 %

Figura 3.26 Circuito 2 del caso teórico de estudio compensado.

$U_I = 10,0 \text{ kV}$
 $u = 1,00 \text{ p.u.}$
 $\phi_{iu} = -160,1 \text{ deg}$

3.12.2 Circuito número tres del caso teórico de estudio

Como se muestra en la (figura 3.27) que corresponde al tercer circuito del caso teórico de estudio también existe un terminal con bajo voltaje, pero aceptable. El transformador también se encuentra con coloración roja, pero con un valor



manejable de carga.

Figura 3.27 Problemas del 3 circuito del caso de estudio.

Para este caso no es necesario la utilización de un condensador ya que el nivel de tensión del terminal está dentro de la norma y se puede mejorar con los *taps* del transformador, para el cual en este caso se escogió su segunda posición; dando un resultado razonable tanto para el transformador como para el terminal lo cual se puede apreciar en la figura 3.28.

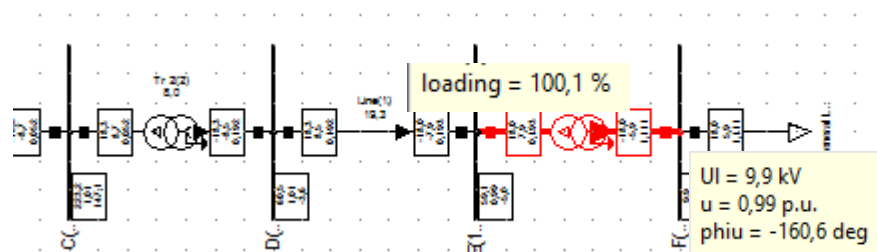


Figura 3.28 Circuito 3 del caso teórico de estudio compensado.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

Una vez compensado completamente el monolineal del caso de estudio teórico queda como se muestra en la (figura 3.29) donde a pesar que dos de los transformadores queden con coloración roja se encuentran en valores permisibles de carga para su correcto funcionamiento.

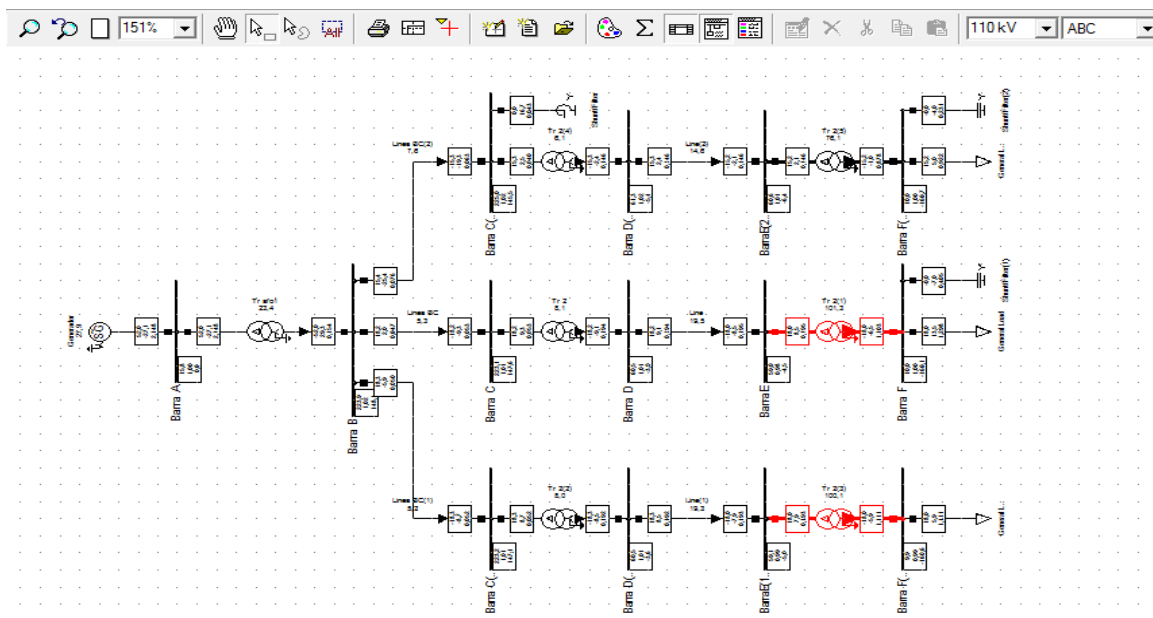


Figura 3.29 Monolineal del caso de estudio compensado.

Capítulo 3: Descripción del caso teórico de estudio

En la (figura 3.30) se puede observar el resultado del flujo de potencia luego de que el sistema se encontraba en un estado estable. Si se compara con las

	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0	+5	+10
Barra A	15,75	1,000	15,75	0,00					
Barra B	220,00	1,018	223,93	148,13			■		
Barra C	220,00	1,014	223,09	147,62			■		
Barra D	60,00	1,008	60,49	-3,03			■		
BarraE	60,00	0,983	59,00	-4,49			■		
Barra F	10,00	1,001	10,01	-160,06					
Barra C(1)	220,00	1,015	223,21	147,09			■		
Barra D(1)	60,00	1,009	60,55	-3,57			■		
BarraE(1)	60,00	0,985	59,12	-5,05			■		
Barra F(1)	10,00	0,987	9,87	-160,58			■		
Barra C(2)	220,00	1,023	225,01	145,45			■		
Barra D(2)	60,00	1,021	61,28	-5,09			■		
BarraE(2)									

situaciones iniciales del sistema, se puede observar que los valores de voltaje en los terminales se encuentran dentro de la norma y sus valores de tensión en (pu) se encuentran lo más cercanos a la unidad por lo que se puede concluir que el sistema se encuentra en estado estable.

Figura 3.30 Resultados del flujo de potencia con el sistema estable.

3.14 Conclusiones

En este capítulo se abordó sobre la confección de un caso de estudio teórico donde se presentaron una serie de situaciones tanto en los terminales del sistema como en algunos de los transformadores. También se propusieron las alternativas de solución y por último se tomaron datos comparativos del flujo de potencia, con el objetivo de una mejor visualización práctica de la utilización del software Power Factory.

Conclusiones Generales

COLUSIONES GENERALES

En el presente trabajo se logró Elaborar un Instructivo Metodológico para paquete computacional Power Factory enfocado a los operarios de las Empresas Eléctricas a fin de facilitar el manejo de los módulos requeridos para los estudios eléctricos del Sistema Electroenergético Nacional.

Con este trabajo se logró Desarrollar un caso de estudio teórico en el que estén presentes la mayor cantidad de elementos y situaciones posibles en las líneas, en el cual se propusieron las alternativas de solución y por último se tomaron datos comparativos del flujo de potencia, con el objetivo de una mejor visualización práctica de la utilización del software Power Factory.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Aplicar el instructivo metodológico elaborado en la presente investigación a los operarios de las empresas eléctricas del país.
- Continuar perfeccionando la guía metodológica después que se comience la implementación de esta, con las opiniones y sugerencias de los usuarios.

Referencias bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DIgSILENT Power Factory “Manual GmbH Gomaringen Germany 2006.”
2. EPN, Cátedra de Circuitos, Componentes Simétricas 2002.
3. AREVA, Network Protection y Automation Guide, 2002.
4. HAYT William, Teoría Electromagnética, Mcgrawn-Hill, 5ta edición, 2003.
5. ALLER José Manuel, Conversión de Energía Eléctrica, Universidad Simón Bolívar. Enero 2007.
6. FITZGERALD A.E., KINGSLEY Jr. UMÁN, Máquinas Eléctricas, Sexta edición, Mc Graw Hill Interamericana 2005.
7. KUNDUR P., “Power System Stability and Control” EPRI. Mc Graw-Hill. 2001.
8. Tutorial IEEE de Protección de Generadores Sincrónicos, The Power Engineering Education Committee. Power System Relaying Committee, ANSI/IEEE C37.102-1987.
9. IEC, Comité 73, Short Circuit Current Calculation in Three Phase AC Systems, 1988.
10. GONZÁLES-LONGATT Francisco M, Estabilidad de Sistemas de Potencia, febrero 2006.
11. JÁTIVA Jesús, Apuntes de la materia SEP, Semestre marzo – agosto 2007.
12. COES SINAC, “Criterios de Ajuste y Coordinación de los Sistemas de Protección del SEIN. Diciembre 2005.
13. STEVENSON William D., Power System Analysis, Mc Graw Hill, Electric and Electronic Engineering Series. New York 1955.
14. RUIZ Iván, “Análisis de Flujos de Potencia y Corto Circuito de la Interconexión en 115 Kv de dos Complejos Procesadores de Gas”, IEEE, Reunión de Verano de Potencia, RVP-AI/2003-AI-26, Acapulco, México 2003.

Referencias bibliográficas

15. Organismos Consultados y Fuentes de información: CENACE, CONELEC y TRANSELECTRIC SA. 2008.
16. CÁRDENAS Christian Wladimir. Estudios eléctricos de sistemas de potencia para la carrera de ingeniería eléctrica utilizando el software Power Factory. Quito, julio 2008.
17. Aquino Tamayo. A. Programa para el análisis de redes eléctricas de estructuras, variables. Calidad de la energía. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1994.
18. González P. I; Compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos. Revista Geología y Minería, 1999.
19. Mazorra, Soto, J. Metodología para la minimización técnico económica de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales. Revista Energía. No 1, 1986.
20. Martínez del Sol, Alexis. Mier García, Jorge Javier. Análisis de la fiabilidad en el diseño de redes radiales de distribución. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías México 2004.
21. Morales Zapién, Guillermina. Metodología para la enseñanza del análisis de redes eléctricas. Departamento de Ingeniería Eléctrica E.S.I.M.E. Zacatenco I.P.N. México D.F, 2004.
22. C. HAUG RAMÍREZ, Redes y sistemas eléctricos, 1987.

ANEXOS

ANEXOS