

## **CAPÍTULO 3**

### ***SOFTWARE FEEDER ALL Y MODELACIÓN DIGITAL***

Este capítulo presenta una descripción del software *Feeder All* de ABB, y el procedimiento para la modelación digital de los primarios de distribución de las subestaciones: 02, 10, 12, 32 y 53.

#### **3.1. GENERALIDADES<sup>9</sup>**

El uso extendido de los computadores, acompañado del creciente número de herramientas de software empleadas en el medio eléctrico para ayudar a la solución de problemas de ingeniería, ha impuesto desde las últimas décadas el reto de concebir, y aplicar estas herramientas para el uso profesional.

El *software FeederAll* se utiliza para el desarrollo de estudios eléctricos en distribución, los cuales engloban distintos análisis como son: Estudios de factibilidad, optimización de primarios, flujos de carga, Aplicación de condensadores, asignación de carga, mapas geográficos de alimentadores, aplicación de arranque de motores, coordinación de protecciones, análisis de cortocircuitos, calidad de producto en media tensión, determinación de parámetros mediante simulación. Siendo éste un programa el cual recupera información proveniente de una base geográfica de un sistema de distribución totalmente dinámico, se requiere una actualización del recorrido de primario para conveniencias de *FeederAll*, es decir: correcta secuencia de fases, correcta asignación de cargas, capacidades e identificación correcta de equipos.

#### **3.2. FLUJOS DE CARGA<sup>10</sup>**

*FeederAll* utiliza algoritmos (procedimientos numéricos) en la solución de flujos de carga para determinar las condiciones de operación de un sistema eléctrico. Las entradas requeridas para calcular flujos de carga son los elementos estructurales de los circuitos radiales o no radiales, impedancias de línea y la ubicación y magnitud

---

<sup>9</sup> DD.RPT.751.IN.05, EEQ S.A., “Instructivos Para Media Tensión”, Quito, 08 de febrero del 2004

<sup>10</sup> *FEEDERALL*, User Guide. Chapter 8. march 2004

de las cargas eléctricas. El resultado fundamental del flujo de carga son los voltajes de operación en toda la red.

Matemáticamente el flujo de carga consiste en la solución de un conjunto de ecuaciones no-lineales, que no tienen generalmente una solución exacta. La solución requiere de un proceso iterativo al asignar valores estimados a los voltajes de barra conocidos y calcular nuevos valores para cada voltaje de barra, a partir de los valores estimados de las otras barras, así se obtiene un nuevo conjunto de valores, para el voltaje en cada barra que se usa para calcular otro conjunto de voltajes de barra. A cada cálculo de un nuevo conjunto de voltajes se llama iteración. El proceso iterativo se repite hasta que los cambios en cada barra son menores que un valor mínimo especificado.

Una variedad de métodos iterativos existen para resolver ecuaciones no-lineales. Los más utilizados en aplicaciones de flujos de carga son: *Gauss-Siedel*, el cual tiene características de convergencia lineal, y *Newton-Raphson* el cual tiene características de convergencia cuadrática.

Todas las ecuaciones de flujos de carga son esencialmente una afirmación de las leyes de *kirchhoff*, la sumatoria del flujo de carga en cada barra del sistema debe ser cero.

Dado que los flujos de carga resuelven los voltajes y ángulos de nodos, las estimaciones iniciales son los voltajes y ángulos de cada nodo. En la estimación inicial todas las magnitudes de voltaje de nodo son 1.0 por unidad y todos los ángulos de voltaje son 0.0 con las siguientes excepciones:

- El voltaje y el ángulo de fase de la barra oscilante son valores fijados por el usuario. Estos valores son la referencia de voltaje del sistema y no cambian durante el cálculo del flujo de carga,
- Las magnitudes de voltaje de la barra de generación (PV) son inicialmente fijados a los valores regulados por el usuario. En caso que los límites del generador de potencia reactiva fuera insuficiente para mantener el voltaje regulado, estos pueden cambiar.

El sistema proporciona facilidades para modelar las siguientes clases de equipamiento de control de voltaje:

- a. Transformadores con cambiador de tomas de baja carga.- Estos elementos ajustan su toma en un esfuerzo por mantener la magnitud de voltaje de su “barra controlada” en el nivel fijado.
- b. Generadores Sincrónicos.- Estos elementos ajustan su generación/ consumo de potencia reactiva para mantener sus voltajes en terminales en niveles especificados. *FeederAll* permite dos formas de análisis de flujo de carga:
  1. Flujo De Carga Balanceado.- utiliza el equivalente monofásico.
  2. Flujo De Carga Desbalanceado.- Análisis trifásico

### 3.2.1. Flujo De Carga Balanceado<sup>11</sup>

Utiliza las componentes positivas de la representación de la red, suma todas las cargas y flujos de potencia a través de sus tres fases (A, B, y C), para determinar un resultado equivalente monofásico. El sistema determina el resultado del flujo de carga para uno, o más circuitos no radiales basados en la técnica de flujos de carga balanceados. En base a la estructura de la red, la impedancia y la ubicación y magnitud de la carga, el sistema calcula voltajes de operación a través de la red. Usando estos voltajes, el sistema puede deducir otros valores útiles como flujos de potencia, flujos de corriente, pérdidas, factores de potencia, etc.

La aplicación de flujo de carga balanceado requiere de los siguientes datos:

- Impedancia del transformador e impedancia de secuencia positiva de los conductores de la red.
- Potencia constante e impedancia constante de la carga
- Voltaje regulado de generadores y regulación de transformadores
- Potencia real de generación
- Límites de generación de potencia reactiva

Las siguientes aplicaciones deben ser ejecutadas antes de correr el flujo de carga balanceado:

---

<sup>11</sup> *FEEDERALL*, User Guide. Chapter 8. march 2004

- **Asignación de carga.-** La asignación de carga calcula la potencia constante y la impedancia de carga constante en cada punto, la cual es usada como dato de entrada para el flujo de carga. Esta asignación se la realiza si las mediciones de potencia han cambiado, y no debe ejecutarse después que se ha asignado cargas manualmente porque esto las borraría.
- **Cálculo de impedancia.-** La aplicación de cálculo de impedancia se debe realizar antes de correr el flujo de carga para calcular la impedancia de secuencia positiva de los conductores de la red.

### 3.2.2 Parámetros del Transformador usado por el Flujo de Carga Balanceado:

- Nivel De Voltaje (*Voltage Level*).- voltaje primario del transformador usado para calcular la relación de transformación.
- Voltaje Secundario (*Sec Voltage Level*).- Voltaje secundario utilizado para calcular la relación de transformación.
- Número de taps (*Number of Taps*)
- Tap Mínimo (*Min Tap*).- por unidad fijado
- Tap Máximo (*Max Tap*).- por unidad fijado
- Porcentaje de las Impedancia de secuencia positiva.

### 3.2.3. Datos de Carga.

Las cargas en el flujo de carga balanceado son tratadas como una impedancia trifásica constante, una potencia trifásica constante, o una combinación de los dos.

La carga de potencia constante es modelada en la solución del flujo de carga como una inyección de potencia constante. La carga de impedancia constante en cambio es modelada como una impedancia en paralelo (*shunt*) a tierra.

### 3.2.4. Configuraciones del Flujo de Carga Balanceado:

- *Iterations*.- Máximo número de iteraciones intentadas en el flujo de carga
- *Per Unit Convergence Criterion*.- Máximo error por unidad permitido en cualquier nodo

- *First Tap Change Iteration.*- Iteración en la que se produce el primer cambio de tap
- *Last Tap Change Iteration.*- Iteración en la que se produce el último cambio de tap
- *First Gauss Seidel Iteration.*- Recomendado 1
- *First Newton Raphson Iteration.*- Recomendado 2 o 0 si se usa el método Desacoplado Rápido
- *First Decoupled Stott Iteration.*- Recomendado 2 o 0 si se usa el método Newton Raphson completo
- Seleccionar *OK* para ejecutar la solución del flujo de carga

### **3.2.5. Ejecución del Flujo de Carga Balanceado:**

1. Dar un click derecho en cualquier componente conectado a la fuente
2. Seleccionar *Analysis/Balanced Load Flow*

**3.2.6. Resultados del Flujo de Carga Balanceado:** Los resultados son desplegados en la ventana de propiedades en la pestaña etiquetada como *BLF*.

- Nodos
- Líneas
- Transformadores

### **Resultados en nodos del flujo de carga balanceado:**

*Integer Id./ String Id.*- Identificación del nodo 1 que corresponde al Sistema de Información Geográfica (*GIS*) y a la base de datos.

*Name.*- Nombre asignado al nodo.

*Area Id.*- Número de la subestación a la que pertenece el nodo.

*Distance from source.*- Distancia en metros desde la fuente.

*V. Level.*- Nivel de voltaje del nodo.

*P.u. Voltage.*- Voltaje por unidad

*Phase Angle.*- Ángulo de fase.

*Kw. Total.*- Potencia activa total en el nodo.

*KVAR. Total.*- Potencia reactiva total en el nodo.

*Power Factor.*- Factor de potencia en el nodo.

*Total Capacitance.*- Capacitancia total instalada en el nodo.

### **Resultados en líneas del flujo de carga balanceado:**

*Node 1 Id.*- Nodo 1 desde donde parte el conductor correspondiente al Sistema de Información Geográfica (Gis) y a la base de datos.

*Node 2 Id.*- Identificación del nodo 2 donde llega el conductor correspondiente al Gis y a la base de datos.

*Name.*- Nombre del primario al cual pertenece y tipo de conductor del circuito.

*Type Name.*- Tipo de conductor, estructura e instalación.

*Energizad.*- Tipo de energización ABC (trifásica).

*Voltage Level.*- Nivel de voltaje en el conductor (KV.).

*Distance.*- Distancia del conductor en metros.

*From Kw.*- Potencia activa que pasa por el conductor.

*From KVAR.*- Potencia reactiva que pasa por el conductor.

*Flow PF.*- factor de potencia en el tramo del conductor.

*Losses KW.*- Pérdidas de potencia activa en el conductor de referencia.

*Losses KVAR.*- Pérdidas de potencia reactiva en el conductor de referencia.

*Amps.*- Corriente que lleva el conductor en Amperios.

*Max. Amp.*- Máxima corriente permisible que puede llevar el conductor.

*% Loading.*-Porcentaje de cargabilidad del conductor.

### **Resultados en transformadores del flujo de carga balanceado:**

*Name.*- Nombre o identificación del transformador.

*Area Id.*- Subestación a la cual pertenece el transformador.

*Built.*- Tipo de instalación ABC (trifásica).

*Energized.*- Fases energizadas ABC (Trifásica).

*Tap Setting.*- Ubicación del paso del transformador.

*PU Volt. 1.*- Voltaje del lado primario del transformador por unidad.

*PU Volt. 2.*- Voltaje del lado secundario del transformador por unidad.

*KW Loss.*- Pérdidas en potencia activa en el transformador.

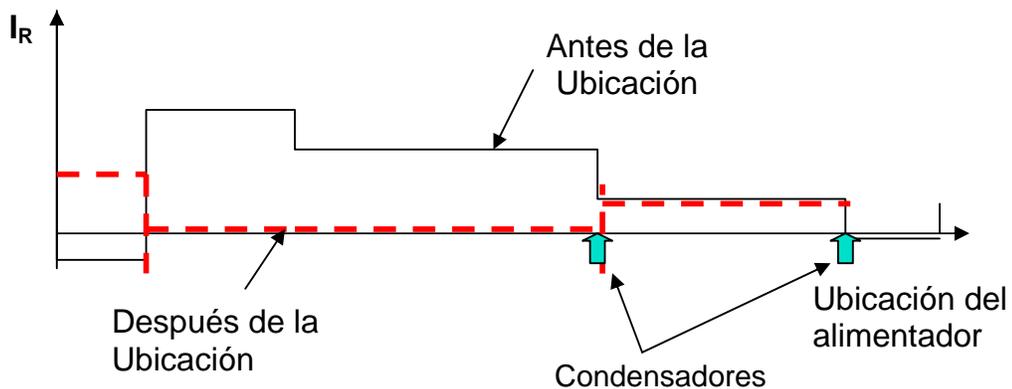
*KVAR. Loss.*- Pérdidas en potencia reactiva en el transformador.

### 3.3. APLICACIÓN DE CONDENSADORES<sup>12</sup>

La aplicación de condensadores de *FeederAll* optimiza el número, lugar, y tamaño de los condensadores a colocarse en la red. A través de este análisis, se puede determinar cuantos KVAR se deberá instalar y en que sitios de la red. El procedimiento de optimización puede ayudar al ahorro debido a la reducción de pérdidas menos el costo de los condensadores dentro de los parámetros definido por el usuario para el análisis en forma automática o manual.

Principios de la aplicación de condensadores:

La ubicación óptima de condensadores mejora la corriente reactiva, reduce las pérdidas en distribución y corrige el voltaje.



**Figura 3.1.** Ubicación de Condensadores

#### Tipos De Condensadores:

- Fijos y Automáticos.
- Tamaño, Costo, Fases (trifásico).

#### Datos De Barra:

<sup>12</sup> FeederAll User Guide. Chapter 13, march 2004

- Existencia de Condensadores en la red.
- Límites de Condensadores.
- Límites del voltaje y factor de potencia.

#### **Opciones de la aplicación de condensadores:**

- Seleccionar la Opción *Capacitor Placement*
- Aparecerá una ventana de diálogo:
- *Capacitor Placement Settings*:

### **3.4. OPTIMIZACIÓN DE ALIMENTADORES<sup>13</sup>**

Con el software *FeederAll* se puede utilizar la aplicación *Feedersite Optimization* que es, una aplicación de un sistema modular de programas integrados usados para ayudar a:

- Planificar a un largo alcance un sistema de distribución.
- Optimizar las rutas de alimentadores/derechos de vías.
- Dimensionar correctamente los conductores.
- Planificar a corto tiempo.
- Optimizar los alimentadores cambiando la configuración.
- Análisis de contingencias con varios escenarios.

Y permite evaluar:

- La estandarización en el tamaño de los conductores
- Las políticas de carga en subestaciones y alimentadores.
- Los cambios en los voltajes de distribución.

### **3.5. PROCEDIMIENTO PARA LA MODELACIÓN DIGITAL DE LOS PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBESTACIONES: 02, 10, 12, 32 Y 53.**

En el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Quito S.A., en la parte de redes de media tensión y previas las respectivas solicitudes y requerimientos ya sean estas que provengan de las áreas operativas, diseño o particulares, las cuales se hacen llegar al Proyecto de Reducción de Pérdidas Técnicas; se procede a realizar los

---

<sup>13</sup> FEEDERALL, Training. Feeder Site. Application. 2001

estudios, los cuales engloban distintos análisis como son: Estudios de factibilidad, optimización de primarios, calidad de producto en media tensión y determinación de parámetros mediante simulación (flujos de carga). Es necesario definir las distintas actividades necesarias para llegar a concluir este proceso mediante informes evaluativos de los requerimientos ingresados al Proyecto. La principal herramienta para cumplir todas estas actividades es el software para simulación de flujos de carga llamado *FeederAll*.<sup>14</sup>

Los procedimientos que se siguen para la modelación digital es el siguiente:

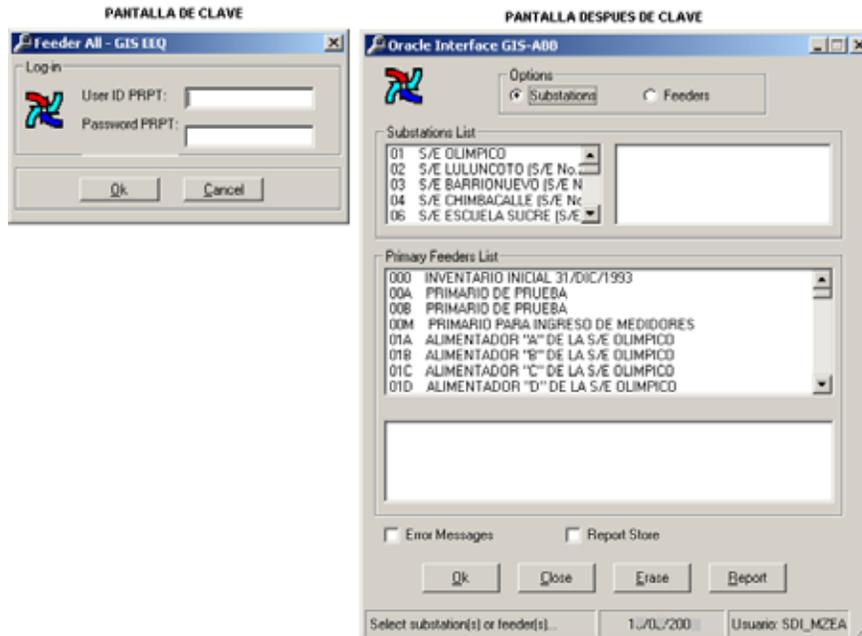
### **3.5.1. Interfase Sistema de Información Geográfica (Gis)-*FeederAll***

Esta aplicación permite obtener los datos del GIS que se encuentran en forma gráfica y llevarlos al software *FeederAll* en forma eléctrica, para poder realizar los flujos de carga, para lo cual en el menú principal del GIS y en la parte de “Aplicaciones GIS” en la sección de “Pérdidas Técnicas” se escoge “*Interfaz GIS – FeederAll*” y se despliega la aplicación que sirve para migrar estos datos.

Después de ejecutar este paso se despliega una ventana, en la que pide la clave de usuario, esta clave de usuario es designada por el área del Sistema de Distribución (SDI), después de colocar la clave y dar un clic en ok aparece la pantalla, en la que se visualiza en forma de listado los nombres de los primarios de distribución y las distintas subestaciones, para migrar cualquiera de estas se da un click sobre el deseado y automáticamente pasa a las pantallas que están en blanco, con la aclaración de que solo se puede migrar solamente subestaciones o primarios (llamados *feeder*).

---

<sup>14</sup> DD.RPT.751.IN.05., EEQS.A. “Instructivos Para Media Tensión” Quito, 08 de febrero del 2004



**Figura 3.2.** Migración de S/E del *Gis* al *FeederAll*

Después de escoger ya sea subestaciones o primarios se visualiza la pantalla en la que indica que borrará la información que se encuentra en ese usuario, para esto se pulsa aceptar, ya que de no hacerlo así se sobrescribirá sobre los datos anteriores, al dar un click en aceptar empieza a realizar la migración de datos hacia las bases de datos del usuario; para finalmente visualizar cuántos datos migraron del *Gis* al *FeederAll* en la pantalla de proceso terminado. Quedando el usuario listo para crear un caso base y posteriormente un caso estudio.

### 3.5.2. Creación De Un Caso Base

- Ir al menú *DATABASE/BASE CASES/CONVERT UNIX*.
- En la parte superior se llena con el nombre del caso base a crear Ejemplo: *CB\_SE02\_TESIS\_VT*.
- En la segunda posición pide ingresar las claves con las que realizó la migración, es decir *SDI\_XXX*, clave *XXX*, y la base de datos que se ocupó que es siempre *GIS*.

- En la tercera posición se ubica la dirección donde se guardará el caso base, luego se da un click en “*Use Structure and Conductor Format*” ya que con esto se está asignando las estructuras actuales con los distintos formatos de los conductores y se da un click en “Ok” y empieza a crear el caso base, finalmente aparecer la pantalla Conversión de Caso Base Completa (*Base Case Conversion Complete*).



**Figura 3.3.** Creación de un Caso Base

### 3.5.3. Creación De Un Caso Estudio

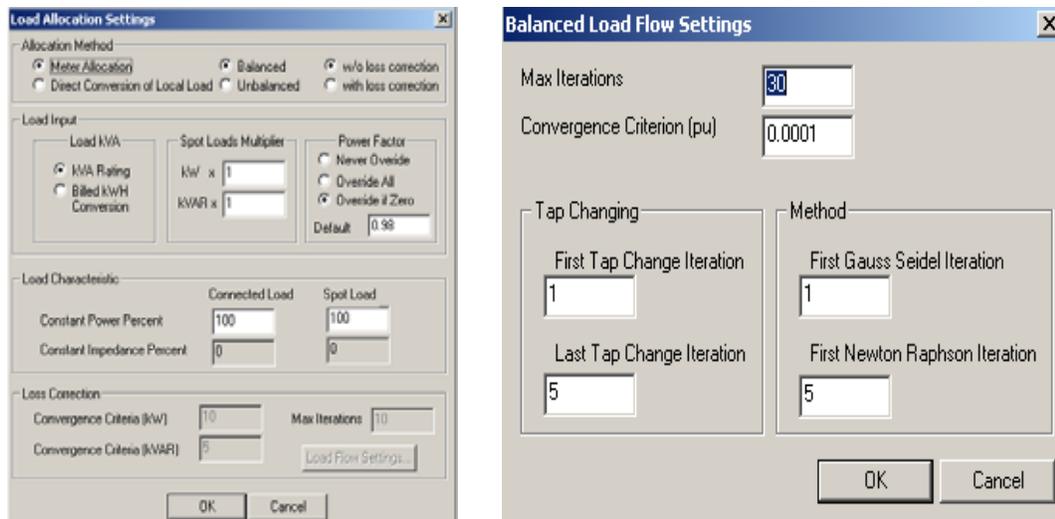
- Después de haber creado el caso base se puede crear un caso estudio, para esto en el menú *DATABASE/STUDY CASES/NEW* y se llena en la primera opción el nombre del caso de estudio, Ejemplo: CE\_SE02\_TESIS\_VT.
- En la segunda opción pide la dirección donde se guardó el caso base,
- En la tercera opción se ubica la dirección donde se guardará el caso estudio, al realizar estos pasos aparece en la parte inferior las distintas áreas de las subestaciones, como dato práctico se asigna todas las áreas, para luego pulsar “Ok” y se crea el caso estudio y a la vez se abre el mismo para trabajar.

### 3.5.4. Manejo Del Flujo De Carga Balanceado

- Con el menú principal “*UTILITIES*” desplegado se ubica la pestaña “*IMPEDANCE CALCULATION*” al dar un click aparece el listado de las distintas estructuras disponibles en la red que tienen tres, dos y una fase, se

escoge el tipo de estructura a calcular y se da un click en ok se ejecuta y aparece el mensaje que se ha terminado el cálculo y que si desea actualizar este cálculo, para lo que se da un click en “Si”, y también se genera una tabla de datos con estos valores calculados,

- El siguiente paso es realizar la asignación de cargas (*Load Allocation*), en la cual se coloca la demanda máxima registrada en los medidores para el periodo de estudio de cada transformador de la subestación. Dar un click en la pestaña “*Execute*”, y aparecen varios parámetros para asignar cargas, uno de los más importantes es activar “*with loss correction*” para corregir las pérdidas en cada una de las cargas, dar un click en “Ok”, y se genera dos tablas técnicas que son: el informe de las cargas y del medidor de la subestación,
- Ir al menú “*Analysis*”, y se escoge la opción flujo de carga balanceado (*Balanced Load Flow*) y se escoge el número de interacciones que realiza el programa para Gauss Seidel como para Newton Raphson que al dar un click en “Ok”, se genera tres tablas técnicas que son: el análisis de nodos, en líneas, y en el transformador; así como también el reporte global “*Reports*” donde se encuentra el resumen de pérdidas “*Losses Summary*”, aquí aparece un global de pérdidas en Kw y Kvar anuales.

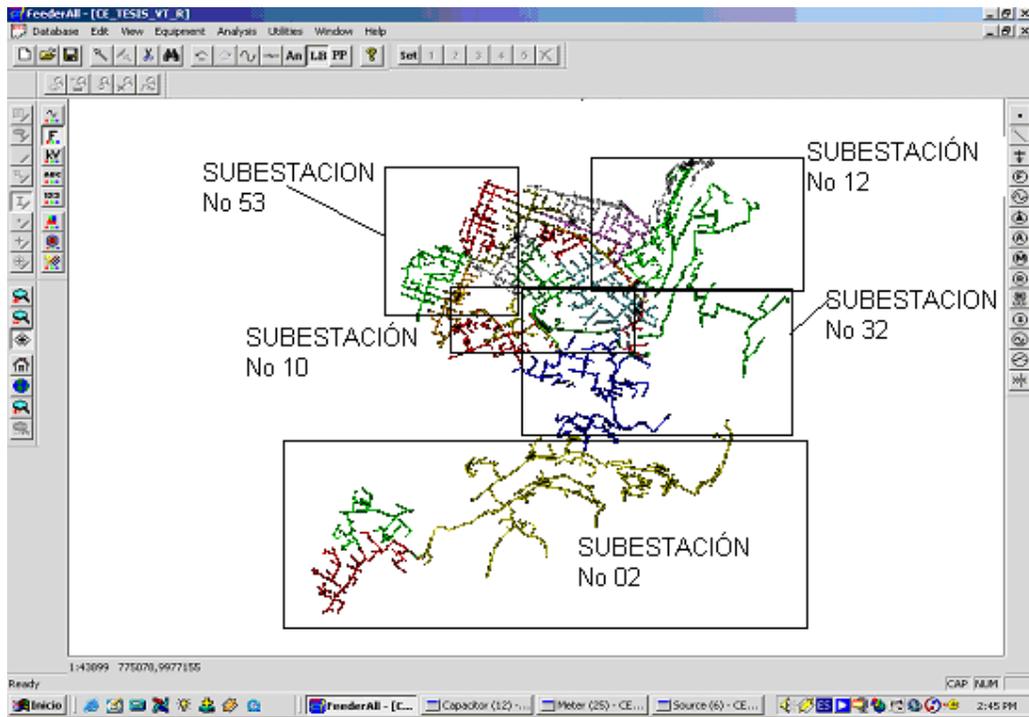


**Figura 3.4.** Asignación de Carga y Ejecución de Flujo de Carga Balanceado

### 3.6. MODELACIÓN DIGITAL.

Se realiza la migración desde el Sistema de Información Geográfica (GIS) al programa *FeederAll* de las subestaciones No 02, 10, 12, 32, y 53. Se verifica que la migración de datos sea del 100 %.

En la figura siguiente se muestra la topología de las subestaciones en estudio.



**Figura 3.5.** Migración de S/E en estudio

Se debe ingresar los parámetros de los generadores, transformadores, y los datos de las mediciones efectuadas en las barras de salidas de los primarios de esta subestación.

#### 3.6.1. Parámetros Del Generador

- Verificar que sea del tipo Barra Oscilante (*Swing*).
- Verificar que la capacidad máxima sea mayor que la del transformador en uso. (*Source Setting* → *Max Capacity KVA*).
- Verificar que los voltajes de generación de la fuente sea el mismo que del lado primario del transformador de potencia.

- Verificar que todos los parámetros estén asignados de acuerdo con las condiciones de operación de la subestación en estudio.

### **3.6.2. Parámetros Del Transformador**

- Verificar que los tipos de transformadores de potencia proporcionen el nivel de voltaje al cual operan.
- Asignar la potencia nominal del transformador por fase en el casillero *NPlate KVA*.
- Asignar los valores en porcentaje de secuencia positiva y secuencia cero del transformador de potencia.

### **3.6.3. Ingreso De Datos De Medidores De Los Alimentadores Primarios**

- En la ventana Propiedades del Medidor (*Meter Settings*), ingresar los datos de la Potencia Activa (KW) y Potencia Reactiva (KVA.) medidos en cada fase de los alimentadores primarios de la subestación para condiciones de Demanda Máxima (*Heavy Analysis*) y para condiciones de Demanda Mínima (*Light Analysis*),
- Verificar que todos los parámetros estén asignados de acuerdo con las condiciones de operación de la subestación en estudio.

### **3.6.4. Ejecución del Flujo de Carga Balanceado**

Se escoge la opción de flujo balanceado “*Balanced Load Flow*” en la que se indica las distintas iteraciones que realiza el programa tanto en *Gauss Seidel* y *Newton Raphson* que al pulsar “Ok” genera tres tablas técnicas de resultados que son: el análisis de nodos, líneas, y del transformador.

Con este paso se concluye la ejecución del flujo de carga y se procede a analizar los resultados y los valores de pérdidas presentados en las diferentes tablas de resultados.