

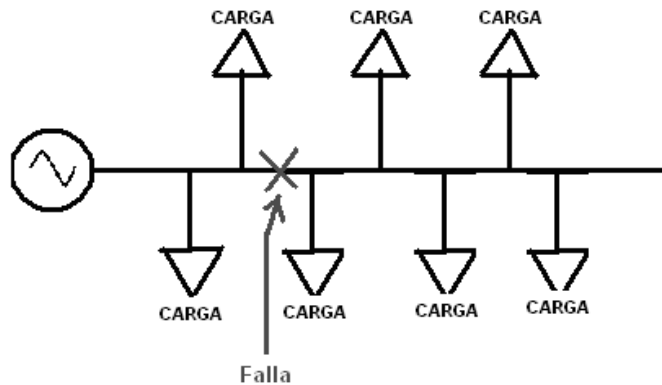
## CAPITULO IV

### DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN

## CAPITULO IV DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN

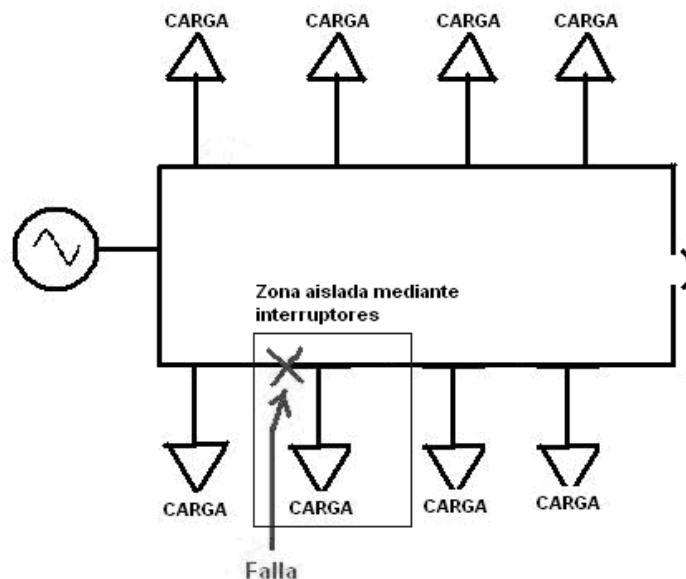
### 4.1 Arreglos comunes de subestaciones.

El principio bajo el cual funciona el nuevo cuarto de generación es el de un anillo en el cual es posible aislar una falla o cargas y/o alimentadores que requieran mantenimiento sin que sean afectadas las demás cargas únicamente se aísla la zona de falla. En la figura 4.1 se tiene un ejemplo de un sistema radial. Si hubiese una falla en la marca roja se pierde gran parte de las cargas del sistema eléctrico.



*Figura 4.1.* Sistema eléctrico en arreglo radial.

En cambio en un sistema en anillo como el que se presenta en la figura 4.2 en el caso de de presentarse fallas eléctricas como la que se indica en la marca color rojo es posible aislar el problema mediante el cierre y apertura de de interruptores en esa zona sin afectar el resto del sistema eléctrico.



*Figura 4.2.* Sistema eléctrico en arreglo anillo.

## 4.2 Generalidades del Proyecto.

El diseño del nuevo sistema eléctrico se realizó para la empresa “COMUNICACIONES DIGITALES”, una empresa dedicada a las comunicaciones digitales y analógicas tanto de video como de voz e internet, dicha empresa se encuentra ubicada en la ciudad de México.

La empresa actualmente se encuentra en un proceso de remodelación y de aumento de infraestructura en el sistema eléctrico debido a la instalación de nuevos equipos los cuales que son necesarios ya sea por mejorar la eficiencia de los procesos actuales o por aumentar el número de procesos que maneja la empresa.

A continuación se enlistan los procesos críticos de la empresa en base a los cuales se desarrollará la nueva subestación:

- El Consumo promedio en todo el campus de la empresa al día es de 3000 kW.
- Operación con equipo electrónico muy sensible a las variaciones de voltaje y a las fallas de la compañía suministradora, como los son transmisores de potencia de HF (High Frequency), servidores de SITES, Racks de equipo de telefonía, equipo electrónico de transmisión satelital, redes de datos de fibra óptica entre otros.

- Crecimiento anual de los requerimientos de carga debido a los múltiples procesos

Los requerimientos principales del proyecto según las necesidades de la empresa son los siguientes:

- Aumento de la capacidad de carga
- Mayor confiabilidad del sistema en lo que respecta a fallas de la compañía suministradora y calidad de la energía (voltaje, armónicos, etc.)
- El mayor ahorro posible en el consumo de energía mensual.
- Sistemas ininterrumpidos de energía en los procesos más importantes de la empresa como lo son transmisión de señales de video digital y análogo, SITES de telefonía y computo.
- Realizar el proyecto de la forma menos invasiva en las instalaciones actuales y aprovechando la infraestructura actual.
- Un buen rango de vigencia del sistema eléctrico en lo que respecta a capacidad de carga y eficiencia del sistema.

En la página siguiente se muestra el diagrama unifilar IE-01 el cual es una vista aérea de la ubicación de la carga instaladas y cargas nuevas proyectadas también se muestra la trayectoria propuesta para la canalización del nuevo sistema en anillo. El área encerrada en un círculo en la esquina superior izquierda muestra el punto donde se centra toda la operación y control del sistema eléctrico. En la esquina superior derecha del plano IE-01 se observa el detalle para la instalación de la charola que alojara el cableado de media tensión.

Plano IE-01

### 4.3 Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es mantener el suministro de energía eléctrica de forma ininterrumpible y de la mejor calidad posible al campus de “COMUNICACIONES DIGITALES” para evitar disturbios interno y externo en el sistema, mediante los medios proporcionados por un sistema eléctrico confiable.

El nuevo sistema tiene como función principal la distribución de la energía eléctrica provista por la compañía Suministradora mediante sus 2 acometidas y como respaldo actuaran los sistemas de emergencia.

### 4.4 Comportamiento y naturaleza de la carga y del sistema.

En lo que respecta al tipo de carga al realizar una inspección visual a todo el campus podemos observar que la mayoría de la carga es del tipo resistiva como lo son alumbrado de oficinas, contactos para computadoras, equipo electrónico de HF, Sistemas ininterrumpibles de energía (UPS), motores de aire acondicionado y alumbrado de alta potencia (lámparas de vapor). La carga inductiva son únicamente los motores de los aires acondicionados de los varios edificios del campus.



*Figura 4.3. Cargas del tipo inductivas*



*Figura 4.4. Cargas del tipo Resistiva*

#### **4.5 Requerimientos del diseño.**

De acuerdo a los datos proporcionados por la empresa y a un levantamiento previo de las instalaciones se establece el parámetro de potencia a suministrar por la nueva infraestructura eléctrica. La cantidad de energía requerida mensual se calculo obteniendo el promedio de las lecturas mensuales durante un año. Dichos medidores son en baja tensión y están ubicados en las acometidas de la compañía suministradora. El promedio mensual de consumo en todo el campus fue un aproximado de 3000 kW con picos de hasta 3500kW. En las figuras 4.3 y 4.4 podemos observar el comportamiento de la carga en el mes de Septiembre del 2010.

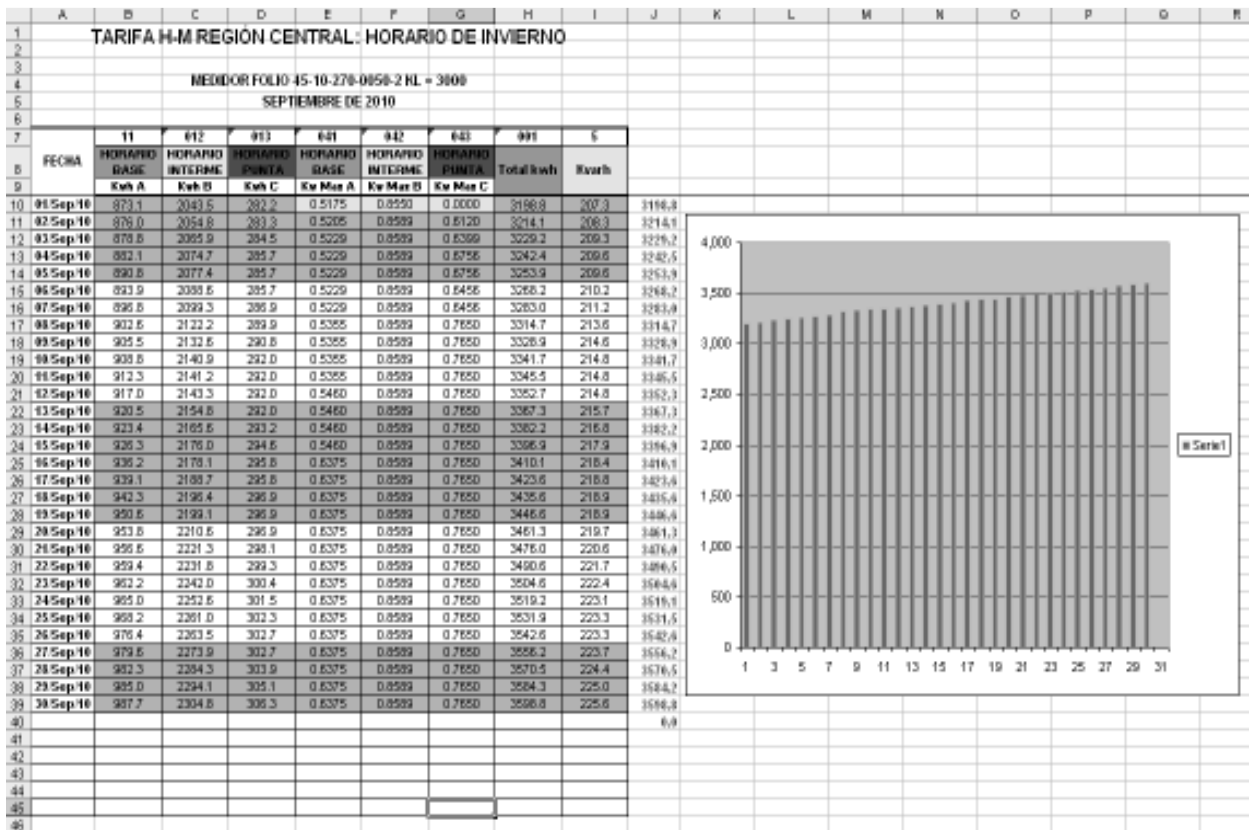


Figura 4.5. Valores mensuales de consumo en kWh.

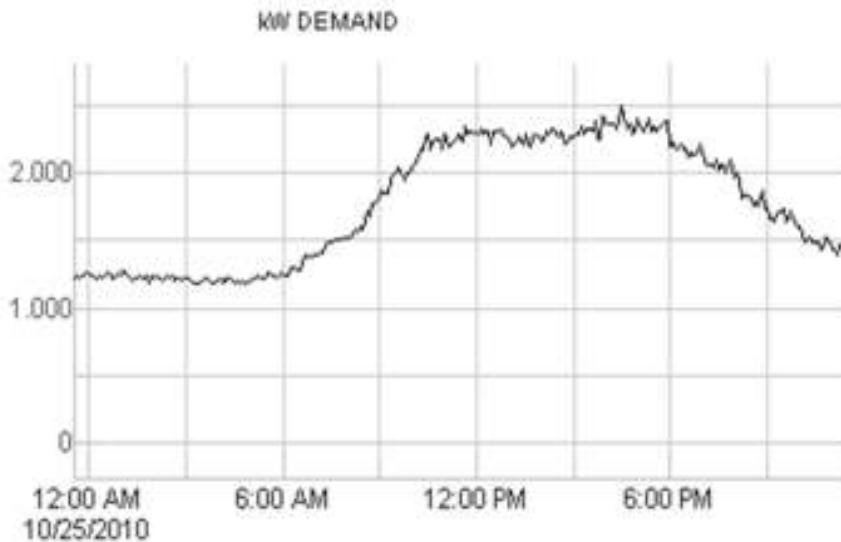


Figura 4.6. Grafica del consumo aproximado en todo el campus obtenida con un medidor digital de parámetros Energy Meter 8100 SERIES.





*Figura 4.7. Medidores de consumo de energía Energy Meter 8100 SERIES*

En el plano IE-02 se muestra el diagrama unifilar del sistema eléctrico original. Podemos observar que en lo general la mayoría de cargas son alumbrado, equipo de cómputo, algunos motores de 562HP y cargas del tipo activa como UPS (Uniterruptible Power Supply).

#### **4.6 Criterios de diseño.**

**4.6.1 Aspectos generales.** El sistema eléctrico de “COMUNICACIONES DIGITALES” está conformado actualmente por dos acometidas en un voltaje de 23kV, 3 fases, 60 Hz, denominadas “Acometida preferente “ y una segunda denominada “Acometida Emergente“. En la figura 4.7 podemos apreciar el sistema eléctrico de forma general.

Estas dos acometidas conmutan entre sí de forma basculante, es decir la salida de energía es alimentada por la última acometida donde se censo energía. La conmutación es en media tensión y es llevada a cabo por una transferencia automática aislada en aire propiedad de la compañía suministradora.

Este esquema ha reportado múltiple fallas debido a que la energía eléctrica en baja tensión es más propensa a generar disturbios en el sistema como por ejemplo sobre voltajes o corrientes armónicas. Otro aspecto negativo es que se requieren de mayor cantidad de conductores para soportar la exigencia de corriente debido al incremento de carga anual que se presenta en las instalaciones.

Plano IE-02

**4.6.2 Aspectos del diseño.** Se consideraron para el diseño de la subestación los puntos que se enlistan a continuación, y procurando utilizar en la medida de lo posible la infraestructura ya existente, como lo son transformadores, tableros de distribución etc.:

- Seguridad
- Confiabilidad
- Simplicidad de operación
- Calidad de la energía
- Mantenimiento
- Flexibilidad
- Costo

En la figura 4.8 se presenta *a grosso modo* el nuevo esquema de alimentación en media tensión. Existen dos fuentes de energía que proporcionan energía al anillo; un sistema de doble acometida de la compañía suministradora y un sistema de 3 plantas de emergencia sincronizadas.

El sistema de doble acometida es manejado por el transfer automático de la compañía suministradora el cual conmuta dependiendo de las condiciones del sistema a Acometida Preferente o Acometida Emergente, dicho transfer ha presentado fallas mecánicas debido a sus elementos a fallas internas en sus elementos.

**4.6.3 Sistema de emergencia.** El nuevo sistema de emergencia cuenta con 3 plantas de emergencia; 2 con capacidad de 1130kW en emergencia y una de 2000 kW en emergencia, las cuales se encontraban en servicio excepto una planta de 2000kW que se adquirió para el proyecto. Las plantas generan en 440V para posteriormente conducir la corriente alterna a un transformador elevador el cual entregara la energía al anillo con un voltaje de 23kV. Los tiempos elegidos para el diseño de la operación de las plantas de emergencia son:

1. Tiempo de retransferencia es de 1 minuto.
2. Tiempo de operación en vacío es de 1 minuto.
3. Tiempo de protección de marcha y paro del ventilador del radiador es de 20 seg.

#### 4.6.4 Sincronización.

Ante la ausencia de potencial por más de 2 segundos en la celda de SF<sub>6</sub> de las acometidas, las plantas de emergencia arrancarán de forma automática y se sincronizarán en aproximadamente 10 segundos. Las señales de control se tomarán del lado de alta de los transformadores y se hará de forma automática, quedando deshabilitada la sincronía manual. La sincronía se realizará tomando como referencia la planta de 2000 kW.

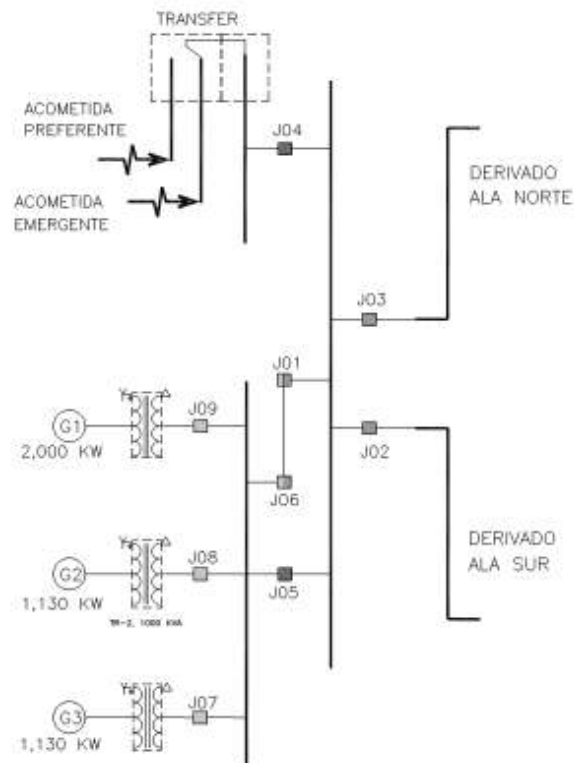


Figura 4.8. Diagrama del nuevo sistema de alimentación en media tensión.

### 4.7 ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

**4.7.1 Aspectos generales.** Se realizó un estudio de corto circuito con la intención de obtener el valor de las corrientes de falla trifásica, monofásica y de las aportaciones del sistema eléctrico de “COMUNICACIONES DIGITALES”, ubicado en Cd. De México, los valores obtenidos servirán como marco de referencia para la definición y evaluación de capacidades interruptivas de los tableros de potencia tanto de media como de baja tensión; además de ser parte fundamental para el análisis para el cálculo de la red de tierras.

El objetivo de este estudio es determinar las corrientes de corto circuito trifásica, monofásica y las aportaciones del sistema para obtener información base para la definición de la capacidad interruptiva de los interruptores principales y derivados así como para el estudio de coordinación de protecciones y red de tierras.

**4.7.2 Software de Cálculo.** Para el desarrollo de este proyecto se trabajó con el software Power Tools de SMK 6.0 que es una herramienta computacional de ingeniería para el análisis de sistemas eléctricos de potencia, industriales, comerciales y de empresas de suministro. Esta herramienta permite trabajar directamente desde el diagrama unifilar; además cuenta con una interfase hombre-máquina desarrollada para el análisis de sistemas de potencia, y utiliza avanzadas técnicas de análisis de redes desarrolladas a nivel mundial para computadoras.

**4.7.3 Datos de entrada para el modelado del sistema eléctrico.** A continuación se describen las consideraciones tomadas para la realización del estudio de corto circuito y coordinación de protecciones de sobrecorriente.

- 1) Configuración del sistema. La configuración del sistema eléctrico de “COMUNICACIONES DIGITALES” es anillo con operación radial. El nivel de tensión con el cual llega la acometida de la compañía suministradora es de 23 kV para distribuir la energía en media tensión a las diferentes áreas; y de este nivel se transforma a 440, 220/127V para la alimentación de las cargas del sistema. El sistema de autogeneración está compuesto por generadores con motor diesel operando a 440 V, de este punto se eleva la tensión a 23kV para ser distribuida en el anillo a través de transformadores elevadores. La carga instalada consiste básicamente de cargas mixtas esto quiere decir que está compuesta por tableros de alumbrado y unidades electrónicas y motoras, etc.
- 2) Transformadores. El sistema eléctrico cuenta con transformadores elevadores y reductores tipo OA de capacidades varias, con valor de impedancia acorde a ANSI C57.12.59DT, el cual fue considerado con tap fijo <sup>[10]</sup>.
- 3) Cables. Dentro de este estudio son considerados los cables involucrados en los radiales y son modelados de acuerdo a su curva de daño, tal y como lo establece el estándar ANSI/IEEE 242 <sup>[10]</sup>.

Los cables representados en el estudio se consideraron de la siguiente manera:

- Todos los conductores son de cobre.
  - El tipo aislamiento es THW para bajo voltaje y XLP para media tensión.
- 4) Motores. Para el análisis de los motores bajo condiciones de corto circuito se tomaron las recomendaciones del estándar 141-1993 de la IEEE <sup>[9]</sup>, el cual en su punto 4.5.4.1 First-cycle duties for fuses and circuit breakers establece que para un cálculo de corto circuito que será utilizado para evaluar la capacidad interruptiva de los dispositivos de interrupción del sistema; la impedancia subtransitoria modificada o sin modificar puede ser usada para representar todas las máquinas rotatorias en una red equivalente, por lo tanto a efectos de simplificar el presente análisis se agruparon los motores menores a 50 hps para obtener uno equivalente por cada tipo, sin alterar la suma de la potencia de todos los motores.
- 5) Generadores de emergencia. Para esta etapa se consideran los generadores de emergencia a modo de obtener el escenario más crítico de operación del sistema y obtener los valores de corrientes de corto circuito más altos posibles dentro del sistema.
- 6) Definición de elementos. Los elementos podrán ser identificados en base a sus respectivos tag's acorde a los diagramas unifilares anexos.

En la siguiente página se muestran el plano IE-03 el cual representa el nuevo sistema de alimentación en media tensión ya dispuesto en anillo el cual consta de nueve subestaciones alimentando las cargas principales en un voltaje de 23kV. En lo que respecta a los sistemas de emergencia podemos observar que sigue haciendo uso de doble acometida y se agrega un nuevo bloque de plantas de emergencia para actuar en caso de falla en la compañía suministradora las cuales generan en 440V y a través de transformadores elevadores conducen la energía hacia los dos derivados del anillo.

El plano IE-04 representa el diagrama utilizado en el software de diseño, en el podemos observar que existen diferentes rutas para el cálculo de corto circuito y para la coordinación de protecciones.

Plano IE-03

Plano IE-04



**4.7.4. Cálculo de corto circuito.** El estudio de corto circuito nos permite obtener los valores de corriente que se presentan en un sistema eléctrico ante condiciones de falla y son utilizados para seleccionar la capacidad interruptiva y momentánea de interruptores y otros dispositivos de protección que forman parte del sistema; al mismo tiempo estos valores de corriente nos permiten evaluar la capacidad de los componentes del sistema para resistir los esfuerzos mecánicos y térmicos ante condiciones de falla, al mismo tiempo el estudio de corto circuito es la base para poder realizar un estudio de coordinación de protecciones, asegurando así la mínima interrupción y evitando daños a los equipos. Es decir, permite obtener y evaluar los valores de las corrientes que deben interrumpirse y conocer el esfuerzo al que son sometidos los equipos durante el tiempo transcurrido desde que se presenta la falla hasta que se interrumpe la circulación de corriente.

Una instalación eléctrica debe de estar preparada para soportar un corto circuito cuando sus elementos cumplen con las siguientes condiciones:

- Robustez suficiente para soportar los esfuerzos mecánicos de la máxima corriente posible.
- Capacidad de los conductores para soportar los esfuerzos térmicos de la corriente más alta
- que pueda presentarse.
- Rapidez de respuesta coordinada de acuerdo al esquema de protección seleccionado.
- Capacidad de los interruptores para soportar la corriente del arco.

En el análisis de las condiciones de falla en un estudio de corto circuito, se deben considerar aspectos previos, a saber:

1. Seleccionar el lugar o punto de la instalación donde se requiere conocer el nivel de la falla.
2. Establecer el modelo eléctrico.
3. Reconocer y calcular las desviaciones de los resultados finales en función de las simplificaciones realizadas, como las recomendaciones de la norma [5], por ejemplo el agrupamiento de motores menores de 50 hp a un motor equivalente que entregará un valor dado de contribución de corriente de falla

**4.7.5 Procedimiento del estudio de corto circuito.** En el estudio de corto circuito se realiza el análisis de dos tipos de fallas. Primero se realiza un estudio de falla trifásica para la primera red de medio ciclo; para el cual sólo necesitamos las componentes de secuencia positiva y otro estudio monofásico igual para la primera red. Para el segundo estudio, de acuerdo con la teoría de componentes simétricas, se necesitan las tres redes de secuencia: positiva y negativa, que serán consideradas iguales, y la red de secuencia cero. El cálculo de corriente de corto circuito monofásico es importante, además, por el hecho de que, aunque no es común, este tipo de falla puede llegar a tener un valor mayor que la corriente de falla trifásica; lo que obligaría a la inserción de una resistencia de puesta a tierra con el fin de limitar su magnitud.

Es importante mencionar que el software utilizado necesita la adición de buses nodo para efectos del análisis de corto circuito, es decir cada elemento activo y/o pasivo requiere estar conectado a un bus físico o bus nodo de referencia, físicamente este último es un punto de conexión normalmente terminales o zapatas. Con la combinación de buses y buses nodo el software forma una matriz con la cual realiza los cálculos para obtener las diferentes corrientes de falla y relaciones X/R.

**4.7.6 Primera red (Momentánea).** El fin de esta red es obtener las corrientes de corto circuito momentáneas que circulan durante el primer ciclo después de haber ocurrido la falla. Para elaborar esta red se deben tomar los valores subtransitorios de todas las fuentes de corriente que contribuyen al corto circuito afectados por los factores indicados en las tablas 24 y 25 de IEEE/ANSI 141 – 1993 Norma para el cálculo de corto circuito, y los elementos estáticos.

Las corrientes calculadas en esta red tienen diferentes usos:

- a) Selección de las capacidades interruptivas.
- b) Diseño de equipos y estructuras (efecto electrodinámico).
- c) Diseño de red de tierras.

**4.7.7 Segunda red (interruptiva).** Esta red se emplea para determinar los esfuerzos en los interruptores y fusibles de mediano y alto voltaje.

Se consideran los valores subtransitorios de todas las fuentes de contribución al corto circuito (solo con la excepción de los generadores hidráulicos, en cuyo caso, se considera la reactancia transitoria) y se toman en cuenta los factores indicados en la tablas 4.1 de IEEE/ANSI 141 – 1993<sup>1</sup>.

**4.7.8 Tercera red (30 ciclos).** Esta tercera red es calculada para ser empleada principalmente en el ajuste de los relevadores con retardo de tiempo, aquellos cuyo tiempo de retardo es mayor a seis ciclos. En esta red, solamente se tiene contribución de la compañía suministradora y de los generadores síncronos (representados con su impedancia transitorios), pues todos los motores de inducción son omitidos.

**4.7.9 Método de cálculo usado para el estudio.** El estudio de corto circuito se hace de acuerdo con las normas internacionales aceptadas para tal fin. El método normalizado por el Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE y American National Standards Institute, ANSI; conocido como Norma para el cálculo de corto circuito IEEE/ANSI 141 – 1993 <sup>[9]</sup>.

El método consiste básicamente en la aplicación de factores de multiplicación sobre el cálculo de las corrientes de corto circuito, mismas que dependen del punto del sistema en el cual se analiza la falla, de la relación X/R de los equivalentes correspondientes del sistema reducido, tiempo en que inicie la apertura de los contactos primarios del interruptor y uso de la corriente calculada.

La Norma considera la elaboración de tres redes (circuitos equivalentes del sistema eléctrico) para los cálculos de las corrientes de corto circuito. La diferencia entre cada red es el valor de la impedancia de las máquinas rotatorias. Esto se justifica en el hecho de que el estado electrodinámico de las redes cambia a cada instante, existiendo contribuciones diferentes para cada red. Para este caso en particular solo se analizará la primera red de medio ciclo.

El estudio de corto circuito permite obtener resultados para analizar el comportamiento de las protecciones eléctricas con un estudio de la coordinación de protecciones.

#### 4.8 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO OPCIÓN NORMALMENTE ABIERTO AL CENTRO.

Los resultados del análisis de corto circuito muestran el nombre del bus de referencia, el voltaje de línea, la relación E/Z, la corriente trifásica y de línea a tierra, para ver detalles resultados del corto circuito se anexan a continuación algunas corridas del software Power Tools de SMK 6.0. Las siguientes tablas muestran los datos de entrada para el software.

Apr 14, 2008 21:06:28 UNBALANCED INTERRUPTING DUTY PAGE 5

```

      I N T E R R U P T I N G   D U T Y   S U M M A R Y   R E P O R T
      PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000
      MODEL TRANSFORMER TAPS: NO
      NACD OPTION: INTERPOLATED
=====
      BUS RECORD      VOLTAGE  NACD      * 3 P H A S E *      * * * S L G * * *
      NO NAME          L-L      RATIO      E/Z KA      X/R      E/Z KA      X/R
=====
      B-A-GEN          23000.  0.975      25.563      7.39      22.720      7.31
      B-ACOM           23000.  0.975      25.664      7.72      22.837      7.66
      B-ENLC           23000.  0.975      25.566      7.39      22.722      7.32
      B-TR01           23000.  0.974      17.879      1.63      14.965      1.63
      B-TR02           23000.  0.974      18.253      1.69      15.308      1.69

      B-TR03           23000.  0.974      18.278      1.70      15.331      1.69
      B-TR04           23000.  0.974      18.576      1.75      15.607      1.75
      B-TR05           23000.  0.974      19.641      1.98      16.606      1.96
      B-TR06           23000.  0.974      19.643      1.98      16.607      1.96
      B-TR07           23000.  0.974      22.160      2.72      19.092      2.66

      B-TR08           23000.  0.974      22.673      2.98      19.614      2.91
      B-TR09           23000.  0.974      23.138      3.27      20.094      3.19
      B-TR10           23000.  0.974      24.476      4.62      21.514      4.51
      B-TR11           23000.  0.975      25.470      7.00      22.613      6.91

      19 FAULTED BUSES, 55 BRANCHES, 17 CONTRIBUTIONS
      UNBALANCED FAULTS REQUESTED

      *** SHORT CIRCUIT STUDY COMPLETE ***
  
```

Figura 4.9. Corrida del software de cálculo de corto circuito Power Tools de SMK 6.0

**4.8.1 Resultados del análisis de C.C. opción normalmente Abierto al centro.** Los resultados del análisis de corto circuito muestran el nombre del bus de referencia, el voltaje

de línea, la relación E/Z, la corriente trifásica y de línea a tierra, para ver detalles resultados del corto circuito ver anexo.

**4.8.2 Resultados del análisis de C.C. opción Ruta A.** Los resultados del análisis de corto circuito muestran el nombre del bus de referencia, el voltaje de línea, la relación E/Z, la corriente trifásica y de línea a tierra, para ver detalles resultados del corto circuito ver anexo.

#### **4.9 Conclusiones y recomendaciones**

En base en el presente estudio se concluye que el sistema eléctrico de potencia de "COMUNICACIONES DIGITALES" soportará los esfuerzos térmicos y dinámicos que baja condiciones de corto circuito puedan presentarse, lo anterior aunado a un sistema de tierras que deberá estar diseñado acorde a las corrientes de corto circuito que por ella circularan, nos garantiza que el sistema es seguro tanto para las instalaciones como para el personal operario. No se observan elementos de protección que tengan una menor capacidad interruptiva que la mínima necesaria a la cual estarán sometidos bajo condiciones de corto circuito.

Para la elaboración del presente análisis se tomó como base una aportación de corto circuito de 1000 MVAs, acorde a instrucciones de "COMUNICACIONES DIGITALES".