

7  
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
" A R A G O N "

"ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA  
INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS  
PETROQUIMICOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
VICTOR FERNANDEZ ESPINOSA



MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

<b>INTRODUCCION</b> .....	-v-
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b> .....	1
1.1. BASES DE DISEÑO .....	2
1.2. ALCANCE .....	3
1.3. INFORMACION BASICA .....	4
1.4. DISTRIBUCION DE LOS COMPLEJOS .....	5
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DESCRIPCION DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS</b>	
<b>DE LOS COMPLEJOS PETROQUIMICOS</b> .....	7
11.1. CONSIDERACIONES PARA LA INFORMACION .....	7
11.2. DATOS DE PLACA DE GENERADORES .....	8
11.3. ANALISIS DE OPERACION DE CADA UNO DE LOS COMPLEJOS .....	9
11.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	9
11.3.2. DIAGRAMAS UNIFILARES DE LOS COMPLEJOS .....	10
11.4. ESTUDIOS PARTICULARES DE CORTO CIRCUITO .....	10
11.4.1. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-1. ....	11
11.4.2. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-2 .....	14
11.4.3. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-3. ....	15
11.4.4. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-4. ....	17
<b>CAPITULO III</b>	
<b>ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE INTERCONEXION</b> .....	20
111.1. NIVELES DE TENSION .....	20
111.2. ALTERNATIVAS .....	21
111.2.1. INTERCONEXION RADIAL .....	22
111.2.1.1. DIAGRAMA UNIFILAR .....	22
111.2.2. INTERCONEXION ELECTRICA EN ANILLO .....	23
111.2.2.1. DIAGRAMA UNIFILAR. ....	24
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.</b> .....	25
IV.1. CALCULO DE FALLAS .....	25
IV.2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA CORTO .....	28

IV.2.1. DESCRIPCION DEL METODO DE LA NORMA ANSI/IEEE 141-1986	29
IV.2.1.1. PRIMERA RED	29
IV.2.1.2. SEGUNDA RED.	30
IV.2.1.3. TERCERA RED.	30
IV.2.2. EDICION DEL ARCHIVO DE DATOS	31
IV.2.3. ARCHIVOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA "CORTO"	33
IV.3. CALCULO DE IMPEDANCIAS.	34
IV.3.1. CALCULO DE IMPEDANCIA PARA REACTORES	34
IV.3.2. CALCULO DE IMPEDANCIA PARA GENERADORES.	35
IV.3.3. CALCULO PARA TRANSFORMADORES.	36
IV.3.4. CALCULO PARA CARGAS.	37
IV.3.5. CALCULO DE CONDUCTORES.	39
IV.3.5.1. SELECCION DE LOS CABLES PARA LA INTERCONEXION.	39
IV.3.5.2. CALCULO DE IMPEDANCIA DE LOS CABLES.	40
IV.3.6. LISTADO DE IMPEDANCIAS.	43
IV.4. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO PARA LA INTERCONEXION	47
IV.4.1. CONDICIONES INICIALES DE OPERACION.	47
IV.4.2. CASOS DE ESTUDIO	48
IV.4.2.1. INTERCONEXION RADIAL.	48
IV.4.2.2. INTERCONEXION EN ANILLO	49
 <b>CAPITULO V</b>	
FLUJOS DE CARGA	52
V.1. DESCRIPCION DEL PROGRAMA FLUXLV	56
V.2. ARCHIVO DE DATOS PARA FLUJOS	58
V.3. CASOS DE FLUJOS DE CARGA.	60
 <b>CAPITULO VI</b>	
DETERMINACION DE LOS ARREGLO TÍPICOS PARA LA INTERCONEXION.	65
VI.1. CRITERIOS DE SELECCION PARA EL ARREGLO DE LAS SUBESTACIONES.	65
VI.1.1. TENSIONES NORMALIZADAS,	68
VI.1.2. RELACION ARREGLO DE BARRAS - NIVELES DE TENSION.	69
VI.2. JUSTIFICACION PARA LA SELECCION DE LOS ARREGLOS DE BARRAS.	71
VI.3. DIAGRAMAS UNIFILARES SIMPLIFICADOS PARA LOS ARREGLOS DE BARRAS SELECCIONADOS.	71
VI.3.1. ARREGLO DE BARRA SIMPLE.	71
VI.3.2. ARREGLO DE BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA.	72

VI.4. JUSTIFICACION PARA EL USO DE SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF <sub>6</sub> . . . . .	72
VI.5. ESPECIFICACIONES PARA LOS EQUIPOS DE POTENCIA. . . . .	74
VI.5.1. TRANSFORMADOR DE POTENCIA . . . . .	74
VI.5.1.1. CLASIFICACION. . . . .	74
VI.5.1.2. CRITERIOS GENERALES DE SELECCION. . . . .	75
VI.5.2. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO. . . . .	77
VI.5.2.1. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. . . . .	78
VI.5.2.1.a. CLASIFICACION. . . . .	78
VI.5.2.1.b. CRITERIOS DE SELECCION. . . . .	79
VI.5.2.2. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL. . . . .	84
VI.5.2.2.a. CLASIFICACION. . . . .	84
VI.5.2.2.b. CRITERIOS DE SELECCION. . . . .	85
VI.5.3. INTERRUPTORES. . . . .	87
VI.5.3.1. CLASIFICACION. . . . .	88
VI.5.3.2. CRITERIOS DE SELECCION: . . . . .	89
VI.5.4. CUCHILLAS DESCONECTORAS . . . . .	92
VI.5.4.1. CRITERIOS GENERALES DE SELECCION : . . . . .	93
VI.5.5. APARTARRAYOS. . . . .	95
VI.5.5.1. CLASIFICACION. . . . .	96
VI.5.5.2. CRITERIOS DE SELECCION. . . . .	96
VI.5.5.3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC. . . . .	97
<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES . . . . .</b>	<b>100</b>
a) RESULTADOS DE CORTO CIRCUITO. . . . .	100
b) RESULTADOS DE FLUJOS DE CARGA . . . . .	103
<b>APENDICE A. ARCHIVOS DE DATOS . . . . .</b>	<b>106</b>
DEL PROGRAMA "CORTO": . . . . .	106
DEL PROGRAMA "FLUXLV": . . . . .	107
<b>APENDICE B.</b>	
<b>DIAGRAMAS UNIFILARES Y FORMATOS DE REQUISICION PARA EQUIPO EN LAS SUBESTACIONES.</b>	<b>108</b>
<b>APENDICE C.</b>	
<b>TABLAS PARA ENCONTRAR LOS FACTORES APLICADOS AL PROGRAMA "CORTO".</b> . . . . .	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFIA . . . . .</b>	<b>110</b>

---

## **INTRODUCCION**

*El propósito de esta tesis es simular las condiciones en que operaría un sistema eléctrico, constituido por cuatro complejos petroquímicos, y analizar su comportamiento bajo condiciones de falla (corto circuito) y en condiciones normales de operación (flujos de carga).*

*Estos complejos se encuentran trabajando de manera independiente y se desea interconectarlos eléctricamente para optimizar su funcionamiento; esto es aumentar su confiabilidad de operación y ahorrar energía.*

*Para poder hacer una interconexión eléctrica como la que se pretende, es necesario realizar una serie de estudios que nos permitan conocer de antemano los resultados que podamos esperar de nuestro sistema y de esta forma establecer las condiciones de operación. Dos de estos importantes estudios se desarrollan en este documento; Corto Circuito y Flujos de Carga.*

*Para realizar los objetivos propuestos, se ha dividido esta tesis en 6 capítulos, de la siguiente forma:*

### **CAPITULO I. GENERALIDADES.**

*Se plantean dentro de este capítulo las condiciones sobre las que hemos de basarnos para el desarrollo de los estudios. De esta forma, se da un panorama de la necesidad de la interconexión eléctrica, las bases de diseño, el alcance que se tendrá e información básica de los complejos petroquímicos.*

### **CAPITULO II. DESCRIPCION DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS COMPLEJOS PETROQUIMICOS.**

*Antes de comenzar con el análisis de la interconexión, se hace necesaria una visión más amplia de la estructura interna de cada uno de los complejos. Para esto, se muestran los diagramas unifilares esquematizados (UE) de cada uno de ellos, así como los valores de los elementos que los conforman, tales como generadores, transformadores, reactores, líneas, etcétera. También se muestran los resultados de corto circuito de cada uno de los complejos.*

### **CAPITULO III. ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE INTERCONEXION.**

*En este capítulo, se inicia propiamente el estudio de la interconexión al definir y analizar las posibilidades existentes. Se muestran los esquemas de las formas de interconexión y los diagramas unifilares sobre los cuales se empezaran a realizar los cálculos.*

### **CAPITULO IV. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.**

*Una vez que se cuenta con la información necesaria y el diagrama unifilar del sistema eléctrico, se esta en disposición de realizar el estudio de corto circuito. Este se realiza mediante un paquete de cómputo llamado CORTO, mismo que fué realizado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas. En este capítulo se da una introducción al estudio de Corto Circuito, la descripción del paquete computacional, se obtienen las impedancias de los elementos y se definen los casos que se analizan.*

### **CAPITULO V. ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA.**

*Basándonos en los resultados arrojados por el Corto Circuito, se hace el estudio de Flujos de Carga, que al igual que el primero se realizó apoyándonos en un paquete computacional llamado FLUXLV, mismo que también fue desarrollado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas.*

*En este capítulo se hace un breve análisis de los conceptos de Flujos de Potencia, se describe el programa FLUXLV y se analizan los casos de estudio.*

### **CAPITULO VI.**

*La idea de este capítulo es dar los criterios bajo los cuales se hace la selección del equipo mayor que se utilizará dentro de la interconexión, dando justificaciones en base a normas nacionales.*

### **RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

*En este tema, se hace la recopilación de los resultados obtenidos de los estudios realizados, dando las condiciones en que operaría la interconexión y las conclusiones que se obtienen del desarrollo de este trabajo.*

CAPITULO I

GENERALIDADES

*Es indiscutible que uno de los más importantes temas en todos los ámbitos es el de un uso eficiente de la energía eléctrica, con el fin de ahorrar lo más que se pueda de esta importante fuente energética.*

*Tanto Gobierno, industria, comercio y familias, se han dado cuenta de que un gasto innecesario de energía, ocasiona un desajuste en su estado financiero y, por ello, todos se han dedicado a ahorrar electricidad.*

*De esta forma, todos y cada uno de los sectores que intervienen en la economía del país se encargan de mejorar sus sistemas eléctricos, canalizar la energía hacia los elementos más indispensables y evadir todo tipo de usos innecesarios de la electricidad para evitar un desmedido gasto energético.*

*Lo anterior nos muestra la importancia del estudio en cuestiones relacionadas a aumentar la eficiencia de los sistemas que producen y distribuyen energía eléctrica, así como la mejor utilización de dicha energía.*

*Uno de tantos proyectos que se está realizando para reducir el consumo eléctrico es el que ahora motiva el presente trabajo; la interconexión eléctrica de plantas petroquímicas con el fin de mejorar y hacer menos complicada la distribución y el consumo energético.*

*La rama de la ingeniería que se encarga de este estudio, es la Ingeniería Eléctrica, enfocada al estudio de corto circuito y flujos de potencia; derivada de la necesidad o el interés de interconectar eléctricamente cuatro complejos petroquímicos.*

*Desde el punto de vista eléctrico, cada complejo se diseñó para operar independientemente, considerando que la independencia en la producción y consumo de energía es menos complicada y menor el riesgo de interrupciones que en un sistema interconectado.*

*Sin embargo, desde el punto de vista de ahorro de energía, se requiere consumir más combustible para mantener una reserva rodante<sup>1</sup> que permita absorber los incrementos de carga en cada uno de los complejos. En un sistema interconectado la reserva rodante total disminuiría, permitiendo un ahorro sustancial de combustible, reduciendo el desgaste de los equipos y aumentando el tiempo disponible para el mantenimiento.*

#### **1.1. BASES DE DISEÑO.**

*En pláticas sostenidas con el personal de los complejos se propusieron las Bases de Diseño que se mencionan a continuación:*

- 1) *La interconexión eléctrica enlazará a cuatro complejos petroquímicos.*
- 2) *La interconexión permitirá una potencia máxima de transferencia de 60 MVA, trifásica, a una frecuencia nominal de 60 Hz, a través de alimentadores en 115 kV del tipo aéreo fuera de los complejos y alimentadores en 13.8 kV del tipo subterráneo dentro de cada uno de los complejos (Los representantes de cada complejo sugerirán las rutas para los alimentadores).*
- 3) *En cada uno de los complejos, se utilizarán transformadores de potencia trifásicos de relación 115/13.8 kV, con impedancias que serán determinadas de acuerdo a los resultados de los estudios de corto circuito y flujos de potencia contemplados por el proyecto.*
- 4) *Se consideran distancias de fase a fase y de fase a tierra de 1.5 m. ó mayores, de acuerdo a la operación de la subestación y a la disponibilidad del terreno.*
- 5) *Se considera que las subestaciones estarán ubicadas a una altitud inferior a 1000 m.s.n.m.*
- 6) *Todas las especificaciones de equipos, planos, etc. se indicarán cumpliendo con los requisitos indicados en normas americanas, tales como ANSI, IEEE, NEMA, etc.*

---

<sup>1</sup> *Se considera como reserva rodante a la capacidad de generación de energía que tienen los generadores que no se está utilizando, pero que puede entrar en función en cuanto se necesite.*

- 7) Se analizarán dos opciones para la interconexión eléctrica:
- a) Radial (a través de una subestación maestra de maniobra)
  - b) Anillo.
- 8) En el caso de la interconexión eléctrica radial, la subestación maestra será del tipo blindada en SF<sub>6</sub> (hexafluoruro de azufre), debido al ambiente altamente contaminado de la región. El arreglo para esta subestación se contemplará como Barra Principal-Barra de Transferencia. Se ubicará a un costado del CPQ-3 y constará de 5 alimentadores en 115 kV<sup>2</sup>.
- 9) Para los complejos petroquímicos se consideran las subestaciones en arreglo del tipo sencillo, excepto en el CPQ-4 donde, considerando un posible enlace con la acometida nacional, se tomará el arreglo de Barra Principal-Barra de Transferencia.

## 1.2. ALCANCE

El alcance<sup>3</sup> de este trabajo consiste en la realización de los estudios de corto circuito y de flujos de potencia para la interconexión eléctrica de cuatro complejos petroquímicos. Los resultados a obtener son los siguientes:

- a) Determinación de la mejor alternativa de interconexión.
- b) Corrientes de cortocircuito momentáneas en los buses de las áreas de generación y de interconexión para especificación de equipos.
- c) Corrientes de cortocircuito interruptivas para determinar y verificar las capacidades interruptivas de los interruptores en las áreas de generación para la interconexión.

---

<sup>2</sup> Una justificación a esta selección se da en el capítulo VI de este documento.

<sup>3</sup> Dentro de este estudio no se plantea el estudio de corto circuito y flujos de potencia para cada complejo; sino, para la interconexión eléctrica. Se deja como entendido que el estudio para cada complejo ya ha sido realizado.

- d) *Obtener los voltajes en magnitud y ángulo, exclusivamente para los buses del área de generación y para la interconexión eléctrica.*
- e) *Obtener los flujos de potencia en los alimentadores principales del sistema interconectado.*

*Como se mencionó anteriormente, la base fundamental para realizar este trabajo, consiste en el estudio de corto circuito y flujos de potencia de la interconexión eléctrica. El objetivo principal del estudio de corto circuito consiste en obtener y analizar las corrientes de corto circuito trifásico y de línea a tierra en todas las barras del sistema. Del estudio de flujos de potencia se obtendrán las bases para asegurar el funcionamiento del sistema bajo condiciones normales de operación ó en caso contrario, se tendrán los fundamentos para asegurar que el proyecto no es viable.*

### **I.3. INFORMACION BASICA**

*Para los estudios que se deben realizar, se tomarán en cuenta tanto los elementos pasivos como los activos que forman al circuito eléctrico. Se designan como elementos activos los generadores y motores, mismos que son capaces en algún momento de generar energía eléctrica. Los elementos pasivos son los cables de las líneas de transmisión, transformadores y las cargas estáticas como son: protecciones y equipos de medición.*

*En la realización de los estudios de corto circuito y flujos de potencia, se requiere de cierta información. La información necesaria se lista a continuación:*

- a) *Diagrama unifilar de cada complejo petroquímico.*
- b) *Diagrama unifilar del sistema interconectado.*
- c) *Generadores*
  - *datos de placa*
  - *potencias real y reactiva de generación*
  - *límites de potencia reactiva.*

- d) **Transformadores**
  - relación de transformación
  - reactancia de secuencia positiva
  - tipo de enfriamiento
  - número de devanados
  
- e) **Motores de inducción**
  - letra de código o corriente de rotor bloqueado
  - número de polos o r.p.m.
  - factor de potencia
  - eficiencia
  
- f) **Cables**
  - cantidad
  - calibre
  - arreglo
  - longitud
  
- g) **Cargas estáticas**
  - potencia real
  - factor de potencia

\* Para todos estos equipos se requiere también la Potencia, Tensión y Frecuencia nominales.

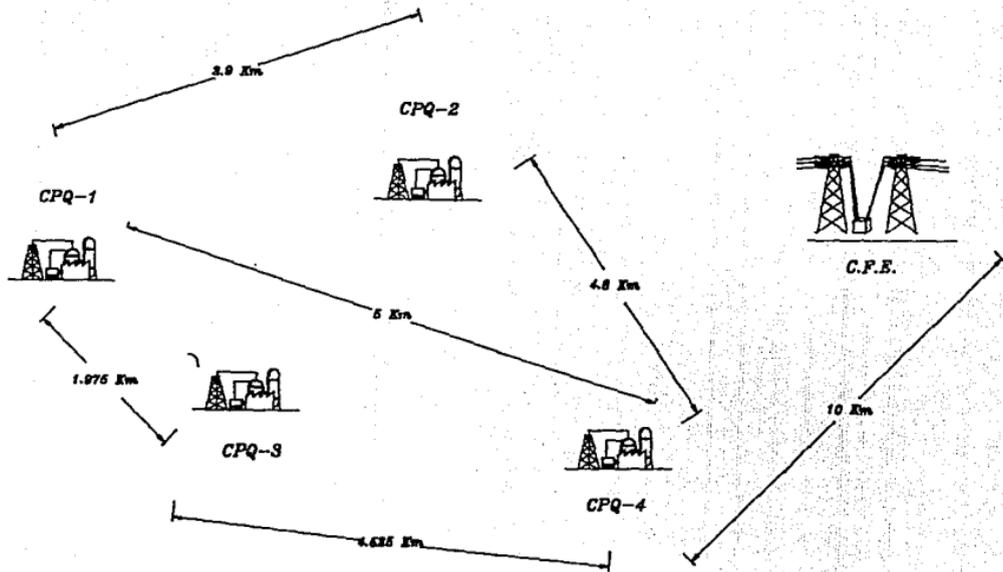
\*\* Cuando no se pueda obtener alguno de los datos requeridos, se recurrirá a los valores típicos de tablas o de fabricante.

#### 1.4. DISTRIBUCION DE LOS COMPLEJOS

Las distancias existentes entre cada una de las instalaciones de los CPQ's son relativas al punto donde se tomen; sin embargo, para fines de cálculo pueden utilizarse medidas aproximadas a lugares donde pudieran ubicarse los posibles puntos de interconexión; dependiendo de la topología del terreno y la distribución de las plantas. En la figura anterior, se aprecia un diagrama con distancias estimadas, mismas que pueden variar en estudios posteriores. Aún así, dado que esto sucediera, únicamente se tendrían

que hacer pequeñas correcciones a los cálculos que se desarrollarán a lo largo de este trabajo.

También se muestra la distancia existente con la subestación eléctrica de Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generalmente los complejos no son alimentados por esta subestación, aunque en el estudio de la interconexión, se plantea la posibilidad de tener un enlace con este sistema.



**DISTANCIAS ENTRE COMPLEJOS**

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS  
DE LOS COMPLEJOS PETROQUIMICOS

II.1. CONSIDERACIONES PARA LA INFORMACION

Los cálculos que se realizarán, están basados en información suministrada por personal de cada uno de los complejos petroquímicos que se están estudiando, además de la recopilada en campo por personal del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

A continuación se lista en forma general la información que será utilizada dentro del presente trabajo:

1. Diagramas unifilares eléctricos.
2. Esquema de los enlaces eléctricos futuros.
3. Datos de placa de motores, transformadores, cédulas de cables, etc.
4. Cuando no sea posible obtener información de los equipos eléctricos, se utilizarán datos típicos (según se acordó con el personal de los complejos).

En lo que respecta a los estudios de cortocircuito particulares de cada complejo, se tomó la información que ya existe por estudios anteriores, misma que fue proporcionada por el personal de cada uno de los Complejos Petroquímicos (CPQ's). Estos serán los valores iniciales que se tomarán para la realización de este proyecto.

## 11.2. DATOS DE PLACA DE GENERADORES

En las páginas siguientes se presenta en forma de tablas los datos de placa obtenidos de cada uno de los turbogeneradores:

Para el Complejo Petroquímico 1 (CPQ-1) tenemos:

DATOS/GENERADOR	TG1	TG2	TG3	TG4
Potencia nominal	33.7 MVA 26.96 MW	33.7 MVA 26.96 MW	33.7 MVA 26.96 MW	33 MVA 26.4 MW
Voltaje nominal	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV
Factor de potencia	0.8	0.8	0.8	0.8
X <sup>saturada</sup>	15.8%	15.8%	15.8%	12.5%

Para el CPQ-2:

DATOS/GENERADOR	TG1	TG2	TG3	TG4
Potencia nominal	60 MVA 48 MW	60 MVA 48 MW	60 MVA 48 MW	45.294 MVA 36.235 MW
Voltaje nominal	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV
Factor de potencia	0.8	0.8	0.8	0.8
X <sup>saturada</sup>	14.17%	14.17%	14.17%	11.8%

Para el CPQ-3:

DATOS/GENERADOR	TG1	TG2	TG3
Potencia nominal	29.6 MVA 23.68 MW	29.6 MVA 23.68 MW	29.6 MVA 23.68 MW
Voltaje nominal	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV
Factor de potencia	0.8	0.8	0.8
X <sup>saturada</sup>	12.9%	12.9%	12.9%

Para el CPQ-4:

DATOS/GENERADOR	TG1	TG2	TG3	TG4
Potencia nominal	60 MVA 48 MW	60 MVA 48 MW	60 MVA 48 MW	30.31 MVA 24.25 MW
Voltaje nominal	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV
Factor de potencia	0.8	0.8	0.8	0.8
X <sup>s</sup> saturada	14.17%	14.17%	14.17%	9% <sup>4</sup>

### II.3. ANALISIS DE OPERACION DE CADA UNO DE LOS COMPLEJOS

Dentro de este punto, se pretende dar una visión generalizada de las condiciones de operación actuales para cada uno de los CPQ's, con el fin de tener un punto de referencia antes de realizar la interconexión y poder determinar cual será el impacto que tendrá su implementación dentro de cada uno de los sistemas involucrados.

#### II.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Como ya se ha mencionado, el alcance de este trabajo, no incluye la realización de los estudios de corto circuito y flujos de carga particulares a cada sistema eléctrico, pero si el observar los efectos generales que se producirán en cada uno de ellos. Por lo anterior, serán tomadas en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- La distribución de las cargas en cada uno de los sistemas eléctricos se realizó de acuerdo a pláticas sostenidas con el personal de cada uno de los complejos.
- 2.- Las magnitudes de las cargas, se obtuvieron de documentos proporcionados por los complejos petroquímicos, con excepción del CPQ-2, donde se utilizó

<sup>4</sup>Para este turbogenerador, se desconocía el valor de X<sup>s</sup>saturada. Por tal motivo, primeramente se pensó utilizar el mismo que para los otros TG's. Finalmente, se consideró una reactancia subtransitoria de 9%. Dato que se obtuvo de la tabla N1.1, página 339, Std. ANSI/IEEE 141-1986 ("RED BOOK")

la demanda máxima reportada en campo por ser mayor que la indicada en las bases de diseño.

- 3.- En los casos de estudio, se consideraron todos los turbogeneradores (TG's) disponibles instalados en cada uno de los centros de trabajo, con el objeto de simular las condiciones más críticas de operación, cuando se observó que en alguno de ellos se presentaban condiciones peligrosas en la operación, se procedió a quitar turbogeneradores hasta cumplir con magnitudes de falla aceptables para los interruptores instalados.
- 4.- No se consideraron las acometidas de CFE a cada complejo, ya que se considera que esta condición de operación se presentará solo esporádicamente.

### II.3.2. DIAGRAMAS UNIFILARES DE LOS COMPLEJOS

Dentro de los diagramas que se presentan a continuación se muestran las condiciones actuales en las que se encuentran operando los Complejos Petroquímicos. En los mismos, se pueden apreciar los datos más relevantes de los TG's, los valores de las cargas concentradas y el bus al que se encuentran conectadas<sup>5</sup>.

Se observó que los generadores de los CPQ's se encuentran conectados a los buses de enlace por medio de un reactor. Esto es para tener control de las direcciones y magnitudes de la energía que se obtiene del generador; sin embargo, se recomienda colocar cuchillas en paralelo (de "bypass") a los reactores, ya que cuando el generador al que se encuentran asignados no este operando, su empleo será innecesario y contraproducente ya que representarán impedancias indeseables.

### II.4. ESTUDIOS PARTICULARES DE CORTO CIRCUITO

Tomaremos como base para realizar la interconexión eléctrica los datos provenientes de estudios realizados en cada uno de los complejos que se encuentran bajo

---

<sup>5</sup> Este número de bus se designa arbitrariamente y será utilizado durante el trabajo.



*análisis. De esta forma, en las páginas siguientes se observarán los resultados obtenidos de trabajos anteriores, mismos que fueron realizados utilizando el mismo método que se empleará en el estudio de la Interconexión.*<sup>6</sup>

#### **II.4.1. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-1.**

*Las condiciones de operación de este complejo durante el estudio fueron las siguientes:*

*Tres turbogeneradores de 33.7 MVA, un turbogenerador de 33 MVA, interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 750 MVA, bus de sincronización, cuatro reactores de 0.263 ohms/fase cada uno y cargas totales de 25 MW (31 MVA). El diagrama unifilar UE-1 muestra la forma en como se encuentran distribuidas las cargas*

*Los listados arrojados al efectuar los cálculos en el computador se observan a continuación:*

---

<sup>6</sup>Este método se explica en el Capítulo IV

## \*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*

## \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL CPQ-1

CASO DE ESTUDIO: 1

NUMERO DE RED : 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA INTERRUPTORES EN  
ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	$kV_B$	X/R	FM	I sim (kA)	P sim (MVA)
1	13.80	41.30	1.0880	25.723	614.832
2	13.80	62.00	1.1533	25.669	613.538
3	13.80	41.30	1.0880	25.723	614.832
4	13.80	62.42	1.1544	27.698	662.042
5	13.80	47.86	1.1112	34.128	815.729

## \*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*

## \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

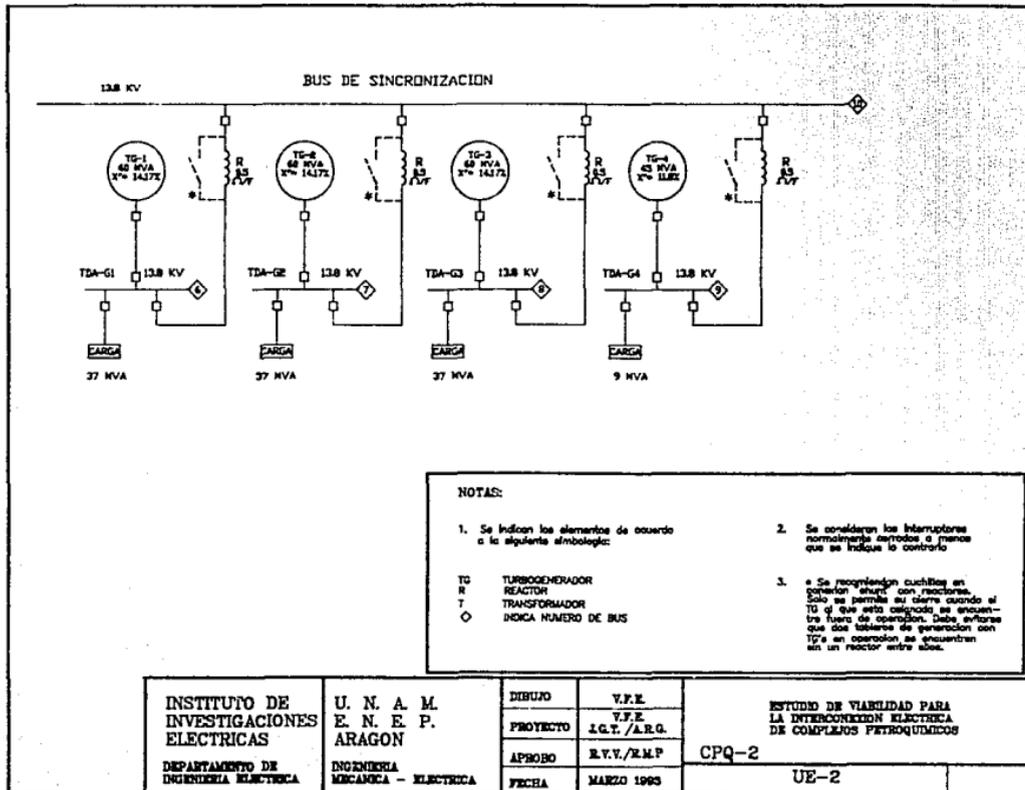
PROYECTO: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL CPQ-1

CASO DE ESTUDIO: 2

NUMERO DE RED : 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA INTERRUPTORES EN  
ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	$kV_B$	X/R	FM	I sim (kA)	P sim (MVA)
1	13.80	31.34	1.0724	25.027	526.493
2	13.80	54.66	1.1326	21.831	521.811
3	13.80	37.34	1.0724	22.027	526.493
4	13.80	52.56	1.1263	14.585	348.619
5	13.80	41.85	1.0900	24.655	589.302



Los resultados obtenidos se observan condensados en la tabla siguiente:

RESULTADOS DE CORTO CIRCUITO				
BUS	VOLTAJE (KV)	CAPACIDAD INTERRUPTIVA (MVA)	CASO 1 (MVA)	CASO 2 (MVA)
1	13.8	750	614.832	526.493
2	13.8	750	613.538	521.811
3	13.8	750	614.832	526.493
4	13.8	750	662.042	348.619
5	13.8	750	->815.729	589.302

**NOTAS:** CASO 1. Con los cuatro TG's en operación.  
CASO 2. TG-1, TG-2 y TG-3 en operación, TG-4 fuera.  
-> Indica que se rebasa la capacidad interruptiva.

**OBSERVACIONES:** Puede verse en la tabla anterior que para el caso de estudio 1, se rebasa la capacidad interruptiva de los interruptores principales del bus de sincronización. Esta situación puede corregirse si únicamente se tienen 3 TG's en operación. Por lo tanto, para una operación confiable de este centro, nunca deben de estar funcionando los 4 TG's al mismo tiempo, conectados al bus de sincronización, a menos que se hagan cambios en los interruptores o reactores.

## II.4.2. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-2

Las condiciones de operación de este complejo durante el estudio fueron las siguientes:

Tres turbogeneradores de 60 MVA, un turbogenerador de 45 MVA, interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 1000 y 750 MVA respectivamente, bus de sincronización, cuatro reactores de 0.5 ohms/fase cada uno y cargas totales de 96 MW (120 MVA). En el diagrama unifilar UE-2 puede verse la forma en la que se encuentran distribuidas las cargas.

Los listados obtenidos al efectuar los cálculos en el computador se observan a continuación:

## \*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*

## \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL CPQ-2

CASO DE ESTUDIO: 1

NUMERO DE RED : 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURADE CONTACTOS) PARA INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KV <sub>g</sub>	X/R	FW	I sim (kA)	P sim (MVA)
6	13.80	32.03	1.0490	33.284	795.575
7	13.80	32.03	1.0490	33.284	795.575
8	13.80	32.03	1.0490	33.284	795.575
9	13.80	52.53	1.1262	30.451	727.851
10	13.80	45.88	1.1045	39.553	945.413

Los resultados obtenidos se pueden observar condensados en la tabla siguiente:

RESULTADOS DE CORTO CIRCUITO			
BUS	VOLTAJE (KV)	CAPACIDAD INTERRUPTIVA (MVA)	CASO 1 (MVA)
6	13.8	1000	795.575
7	13.8	1000	795.575
8	13.8	1000	795.575
9	13.8	750	727.851
10	13.8	1000	945.413

**NOTAS:**

CASO 1. Con los cuatro TG's en operación.

-> Indica que se rebasa la capacidad interruptiva.

**OBSERVACIONES:**

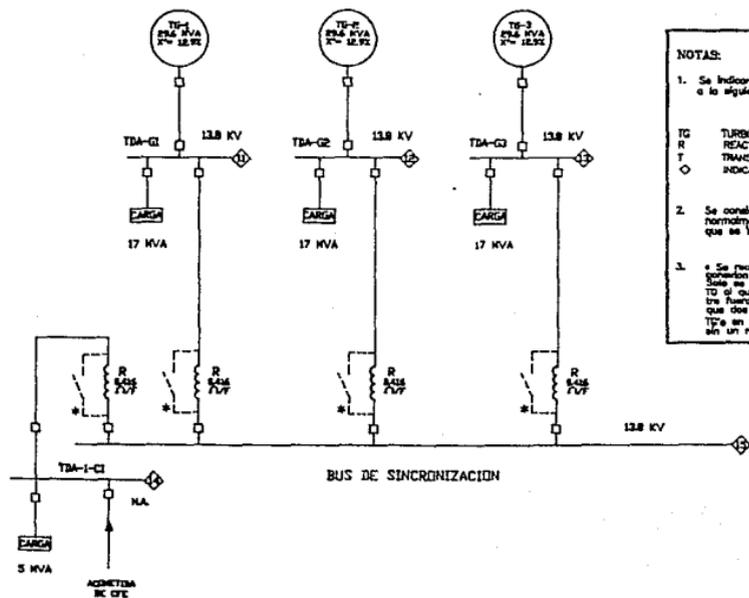
Puede verse en la tabla anterior que en este centro de trabajo aún teniendo todos los turbogeneradores en operación simultáneamente no se rebasan las capacidades interruptivas de los interruptores principales. Por lo que se garantiza una operación confiable.

**11.4.3. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-3.**

Las condiciones de operación de este complejo durante el estudio fueron las siguientes:

Tres turbogeneradores de 29.6 MVA, interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 750 MVA, bus de sincronización, cuatro reactores de 0.416 ohms/fase cada uno y cargas totales de 45 MW (56 MVA). El diagrama unifilar UE-3 muestra la forma en como se encuentran distribuidas las cargas

Los listados obtenidos al efectuar los cálculos en el computador se observan a continuación:



**NOTAS:**

1. Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:

TG TURBOGENERADOR  
 R REACTOR  
 T TRANSFORMADOR  
 ◊ INDICA MÓDULO DE BUS

2. Se consideran las interrupciones normalizadas cerrados o menos que se indique lo contrario

3. \* Se recomienda cualquier un operación "avanzada" de reactores. Solo se permite su cierre cuando el TD si que está asegurado se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que dos tableros de generación con TPs en operación se encuentren sin un reactor entre ellos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS	U. N. A. M. E. N. E. P. ARAGON	DISUJO	V.F.E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEXOS PETROQUIMICOS
		PROYECTO	V.F.E. I.G.T./A.R.G.	
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	APROBO	R.V.V./R.M.P	CPQ-3
		FECHA	MARZO 1968	UE-3

## \*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*

## \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL CPQ-3

CASO DE ESTUDIO: 1

NUMERO DE RED : 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA INTERRUPTORES EN  
ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	$kV_B$	X/R	FW	I sim (KA)	P sim (MVA)
11	13.80	33.47	1.055	720.935	500.400
12	13.80	33.47	1.055	720.935	500.400
13	13.80	33.47	1.055	720.935	500.400
14	13.80	38.62	1.077	611.507	275.045
15	13.80	33.91	1.057	623.313	557.235

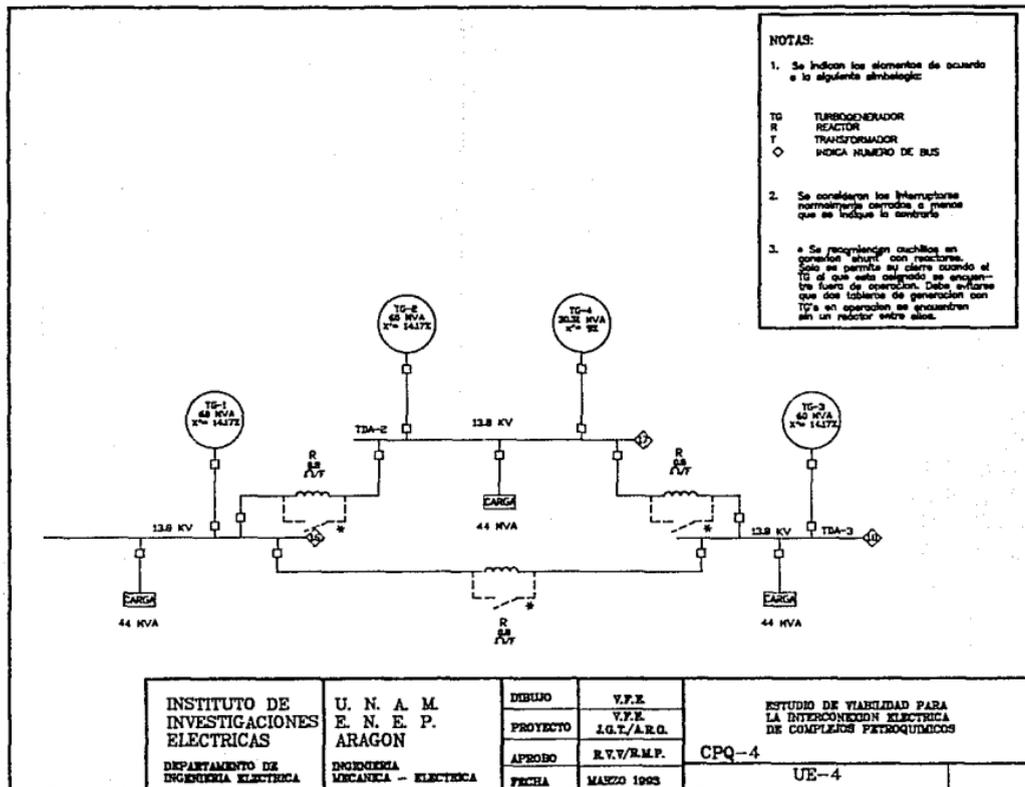
Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla siguiente:

RESULTADOS DE CORTO CIRCUITO			
BUS	VOLTAJE (KV)	CAPACIDAD INTERRUPTIVA (MVA)	CASO 1 (MVA)
11	13.8	750	500.400
12	13.8	750	500.400
13	13.8	750	500.400
14	13.8	750	275.045
15	13.8	750	557.235

**NOTAS:**

CASO 1. Con los tres TG's en operación.

-&gt; Indica que se rebasa la capacidad interruptiva.



**NOTAS:**

1. Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente abreviatura:

- TG TURBOGENERADOR
- R REACTOR
- T TRANSFORMADOR
- ◇ INDICA NUMERO DE BUS

2. Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique lo contrario.

3. Se recomiendan cualquier en conexión shunt con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que está conectado se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que dos toboles de generación con TG's en operación se encuentren en un reactor entre ellos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTROICA	U. N. A. M. E. N. E. P. ARAGON INGENIERIA MECANICA - ELECTROICA	DIBUJO	Y.F.E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS  CPQ-4  UE-4
		PROYECTO	I.G.T./A.R.Q.	
		APROBO	R.V.V./R.M.F.	
		FECHA	MARZO 1993	

**OBSERVACIONES:** Puede verse en la tabla anterior que en este centro de trabajo aún teniendo todos los turbogeneradores en operación simultáneamente no se rebasan las capacidades interruptivas de los interruptores principales. Por lo que se garantiza una operación confiable.

#### 11.4.4. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CPQ-4.

Las condiciones de operación de este complejo durante el estudio fueron las siguientes:

Tres turbogeneradores de 60.0 MVA, un turbogenerador de 30.3 MVA, interruptores principales en 13.8 KV con capacidad interruptiva de 1000 MVA, tres reactores de 0.8 ohms/fase cada uno y cargas totales de 106 MW (132 MVA). El diagrama unifilar UE-1 muestra la forma en como se encuentran distribuidas las cargas

Los listados obtenidos al efectuar los cálculos en el computador se observan a continuación:

#### \*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*

#### \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL CPQ-4

CASO DE ESTUDIO: 1

NUMERO DE RED : 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KV <sub>B</sub>	X/R	FM	I sim (kA)	P sim (MVA)
16	13.80	30.50	1.0417	38.877	929.261
17	13.80	35.43	1.0643	53.674	1282.931
18	13.80	30.50	1.0417	38.877	929.261

## \*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*

## \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL CPQ-4

CASO DE ESTUDIO: 2

NUMERO DE RED : 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	$KV_B$	X/R	FM	I sim (kA)	P sim (MVA)
16	13.80	29.14	1.0349	37.611	898.996
17	13.80	29.14	1.0349	37.611	898.996
18	13.80	29.14	1.0349	37.611	898.996

Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla siguiente:

RESULTADOS DE CORTO CIRCUITO				
BUS	VOLTAJE (KV)	CAPACIDAD INTERRUPTIVA (MVA)	CASO 1 (MVA)	CASO 2 (MVA)
16	13.8	1000	929.261	898.996
17	13.8	1000	->1282.931	898.996
18	13.8	1000	929.261	898.996

**NOTAS:**

CASO 1. Con los cuatro TG's en operación.

CASO 2. TG-1, TG-2 y TG-3 en operación, TG-4 fuera.

-&gt; Indica que se rebasa la capacidad interruptiva.

**OBSERVACIONES:**

*Puede verse en la tabla anterior que para el caso de estudio 1, se rebasa la capacidad interruptiva de los interruptores principales del bus en donde se encuentra el TG-2 y el TG-4. Esta situación puede corregirse si se elimina el TG-4 (caso de estudio 2). Por lo tanto, para una operación confiable de este centro, nunca deben de estar funcionando los 4 TG's al mismo tiempo, o conectados al mismo bus los TG's 2 y 4.*

## CAPITULO III

## ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE INTERCONEXION

## III.1. NIVELES DE TENSION

Los generadores con los que se cuenta dentro de los CPO's tienen un nivel de generación de 13.8 kV cada uno. Este voltaje es el utilizado para la distribución dentro de cada complejo; sin embargo, no es aconsejable utilizarlo para la transmisión dentro de la interconexión eléctrica, ya que hacer la transmisión en este nivel implicaría trabajar con altos valores de corriente, considerando el volumen de la potencia a transmitir. Se consideró como base de diseño que para cada complejo se tiene que satisfacer primeramente la demanda local y la energía excedente podrá ser utilizada para dar apoyo a otro complejo que requiera dicha energía. Por tal motivo debe considerarse que antes de poder transmitir potencia por la interconexión, deben de tenerse cubiertos los requerimientos locales. Siendo así y basándose en los registros de los complejos, se llegó a la conclusión de que la potencia transmitida o recibida por ellos no sería mayor a 60 MVA. Siendo este el nivel máximo de energía que se va a transmitir en condiciones normales de operación, entonces si se considera el nivel de tensión de 13.8 kV se tendría una corriente de operación de  $60\text{MVA}/13.8\text{kV} = 4.34\text{ KA}$ . Un factor que se vería afectado utilizando este voltaje en la transmisión es la regulación de tensión, ya que se podrían tener grandes caídas en el voltaje. Además, se tendrían que implementar sistemas de medición, protección y control que soportaran estas corrientes elevadas. Por tal motivo, es necesario utilizar otro nivel de tensión para la transmisión de la energía dentro de la interconexión.

Se cuenta con estándares que especifican los niveles de voltaje que pueden utilizarse en cada etapa dentro de un sistema eléctrico. De esta forma se cuenta con determinados niveles para la generación, transmisión y distribución. Específicamente, para la etapa de transmisión se manejan voltajes de 69, 85, 115, 138, 230 y 400 kV. La selección de alguno de ellos se basa en el volumen de energía transmitido y la distancia que debe recorrerse en la transmisión.

El nivel que se va a utilizar para la transmisión de la energía dentro de la

Interconexión eléctrica que se está estudiando es de 115 kV. Este voltaje es guía de diseño y fue seleccionado por ser este el nivel en el cual transmite la acometida de CFE. De esta forma se pretende estar en disposición de enlazarse con el sistema general en caso de requerirse.

Como hemos visto, no es conveniente transmitir energía a nivel de generación, por lo que se hace necesario elevar los niveles bajos de voltaje (13.8 kV) a niveles de transmisión (115 kV) para realizar la interconexión. Para lograr elevar la tensión, fueron sugeridos por el personal de los complejos, en base a sus intereses y al nivel de energía a transmitir, transformadores de 50-66.5 MVA, de tipo de enfriamiento OAJFA, 13.8/115 kV y conexión DELTA-ESTRELLA.

### III.2. ALTERNATIVAS

Para el desarrollo del estudio se cuenta con dos formas posibles de interconexión para las plantas generadoras, estas son guía de diseño y se presentan a continuación:

#### INTERCONEXION RADIAL INTERCONEXION EN ANILLO

Cada una de las anteriores formas de interconexión presenta ventajas y desventajas con respecto a la otra, dependiendo de las situaciones particulares que se presenten. Algunos de los criterios que se toman para seleccionar entre los sistemas anteriores son los siguientes:

- Estudios de corto circuito y flujos de carga
- Caída de tensión
- Topología del terreno
- Criterios de operación

*-Distribución física de las plantas generadoras*

Existen además factores que influyen en la selección del sistema a utilizar. Estos factores pueden agruparse en recursos financieros y políticas de operación.

**III.2.1. INTERCONEXIÓN RADIAL**

Para este tipo de sistema, se considera que las plantas generadoras de los complejos petroquímicos; en nuestro caso, se encuentran conectadas mediante una subestación maestra, misma que se encargará de la distribución de la energía proporcionada por cada uno de los complejos, cuando estos se encuentren interconectados.

En la figura 3.1 podemos observar un diagrama esquemático en el que se representan los complejos petroquímicos interconectados en forma radial, mediante el auxilio de una subestación maestra.

Como puede apreciarse en dicha figura, existe un transformador entre cada complejo petroquímico y la subestación eléctrica maestra. Estos transformadores elevarán la tensión de generación (13.8 kV) a la de transmisión (115 kV).

**III.2.1.1. DIAGRAMA UNIFILAR**

Es necesario que para este tipo de interconexión se establezca una subestación eléctrica maestra. Se sostuvieron pláticas con los representantes de los CPQ's, llegando al acuerdo de que la mejor ubicación para esta subestación se encuentra junto al CPQ-3, ya que existe el terreno donde poder instalarla y las condiciones ambientales no son tan severas como en otros lugares. Hay que señalar que estos complejos se encuentran cercanos al mar, provocando esto que el aire contenga muchos elementos corrosivos y además al ser una zona petroquímica, la contaminación del medio es muy elevada. Todos estos factores fueron considerados para poder designar el lugar donde podría ser instalada la Subestación Eléctrica Maestra (S.E.M.) dado que la interconexión fuera en forma radial. Una vez que se seleccionó la posible ubicación de la S.E.M., se procedió a estimar las distancias que deberán ser cubiertas y de esta forma seleccionar el tipo de

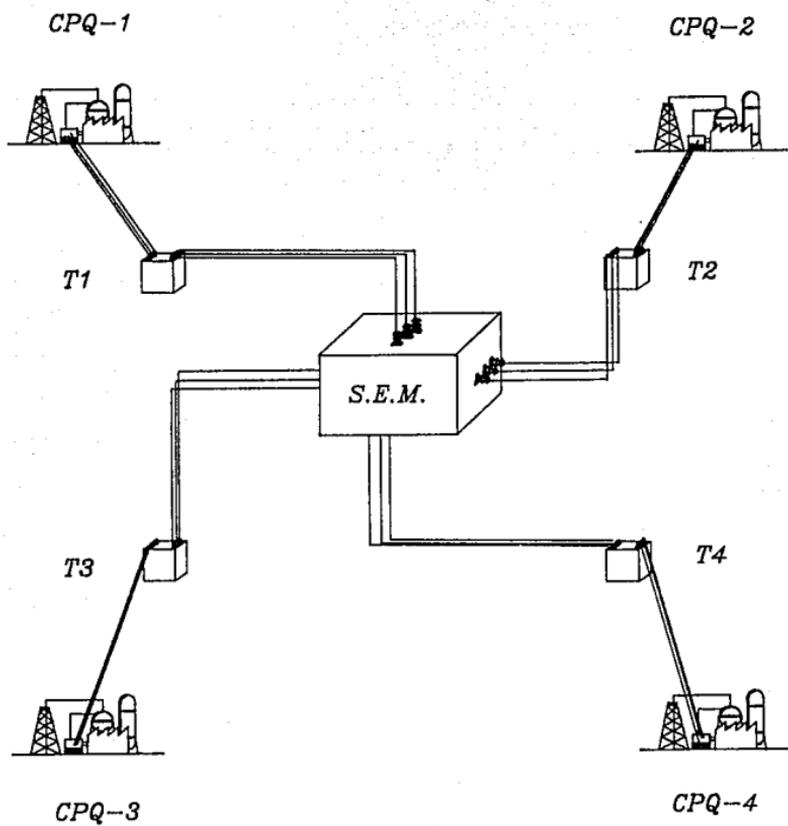


FIG. 3.1. INTERCONEXION RADIAL

conductor a utilizar. Se obtuvieron los siguientes datos:

DEL:	A LA:	DE LA:	A LA:
-----	SUBESTACION ELEVADORA		S.E.M.
CPQ-1	300 m.		1.6 Km.
CPQ-2	300 m.		3.1 Km.
CPQ-3	300 m.		3.4 Km.
CPQ-4	75 m.		75 m.

Al encontrarse cerca una subestación eléctrica de suministro de CFE, se deja abierta la posibilidad de interconectarse con ella por medio de la S.E.M. Esto se muestra en el diagrama unifilar UE-0.

### III.2.2. INTERCONEXION ELECTRICA EN ANILLO

Para este tipo de sistema, no se utiliza una subestación auxiliar, sino que las plantas generadoras se encuentran enlazadas, formando esquemáticamente un anillo. Podemos apreciar el diagrama para la interconexión en anillo de los CPQ's en la figura 3.2.

Y donde se tendrán las distancias que se muestran en la tabla siguiente:

DEL:	A LA:	DE LA:	A LA:
-----	SUBESTACION ELEVADORA		SUBEST. DEL
CPQ-1	300 m.		CPQ-2= 3.3 Km. CPQ-3= 2.35 Km.
CPQ-2	300 m.		CPQ-4= 4.2 Km.
CPQ-3	300 m.		CPQ-4= 4.15 Km.
CPQ-4	75 m.		-----

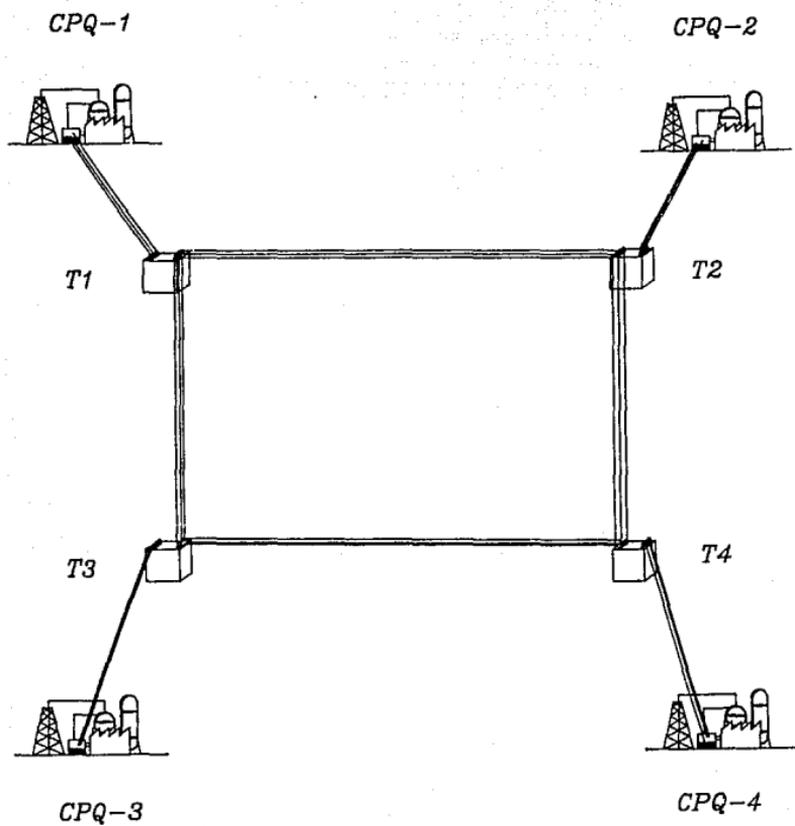
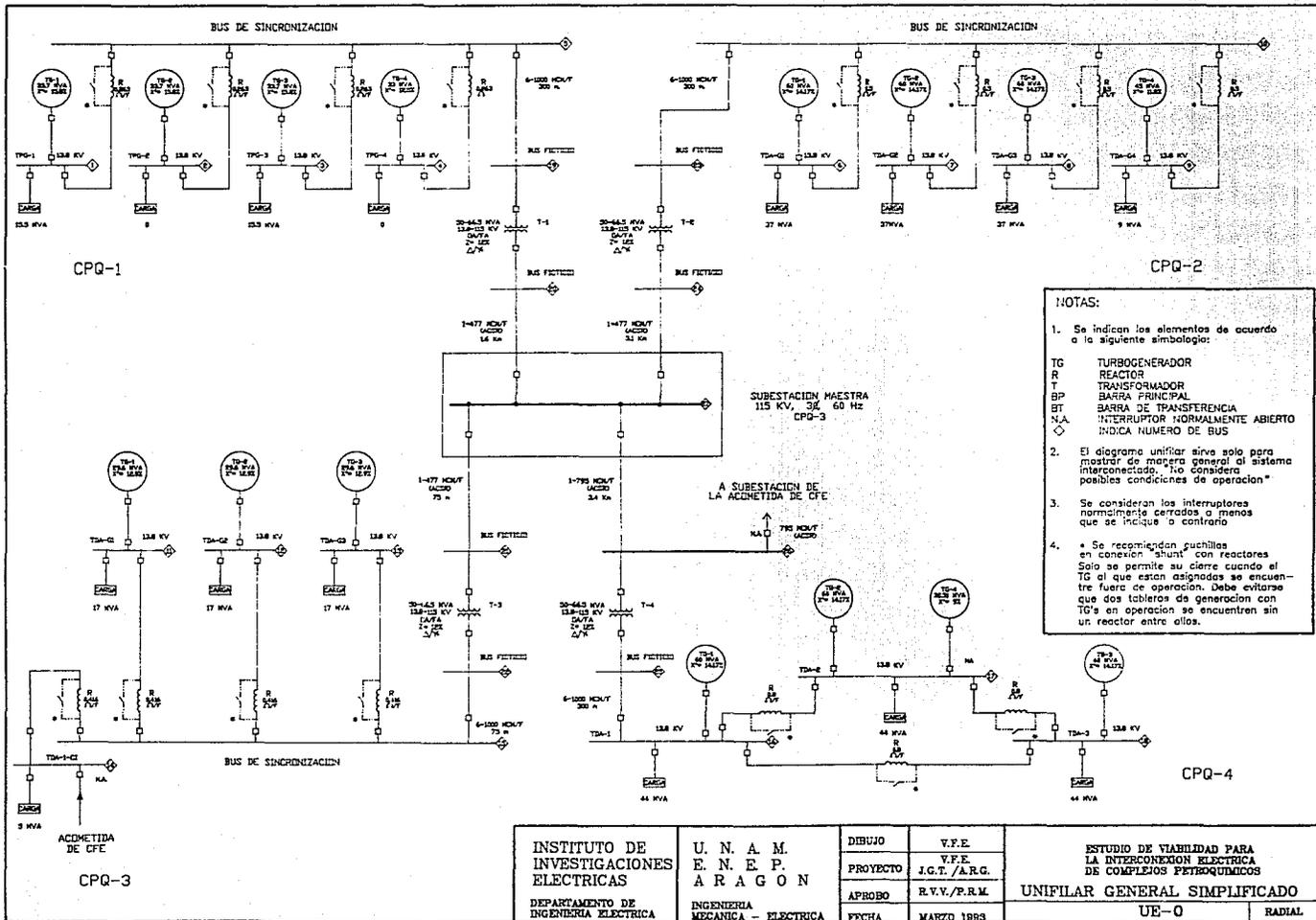


FIG. 3.2. INTERCONEXION EN ANILLO

**III.2.2.1. DIAGRAMA UNIFILAR.**

*La forma en que quedaría la interconexión en anillo se puede apreciar en el diagrama unifilar UE-00. Se puede observar que también existe una salida para la subestación de la acometida de CFE.*

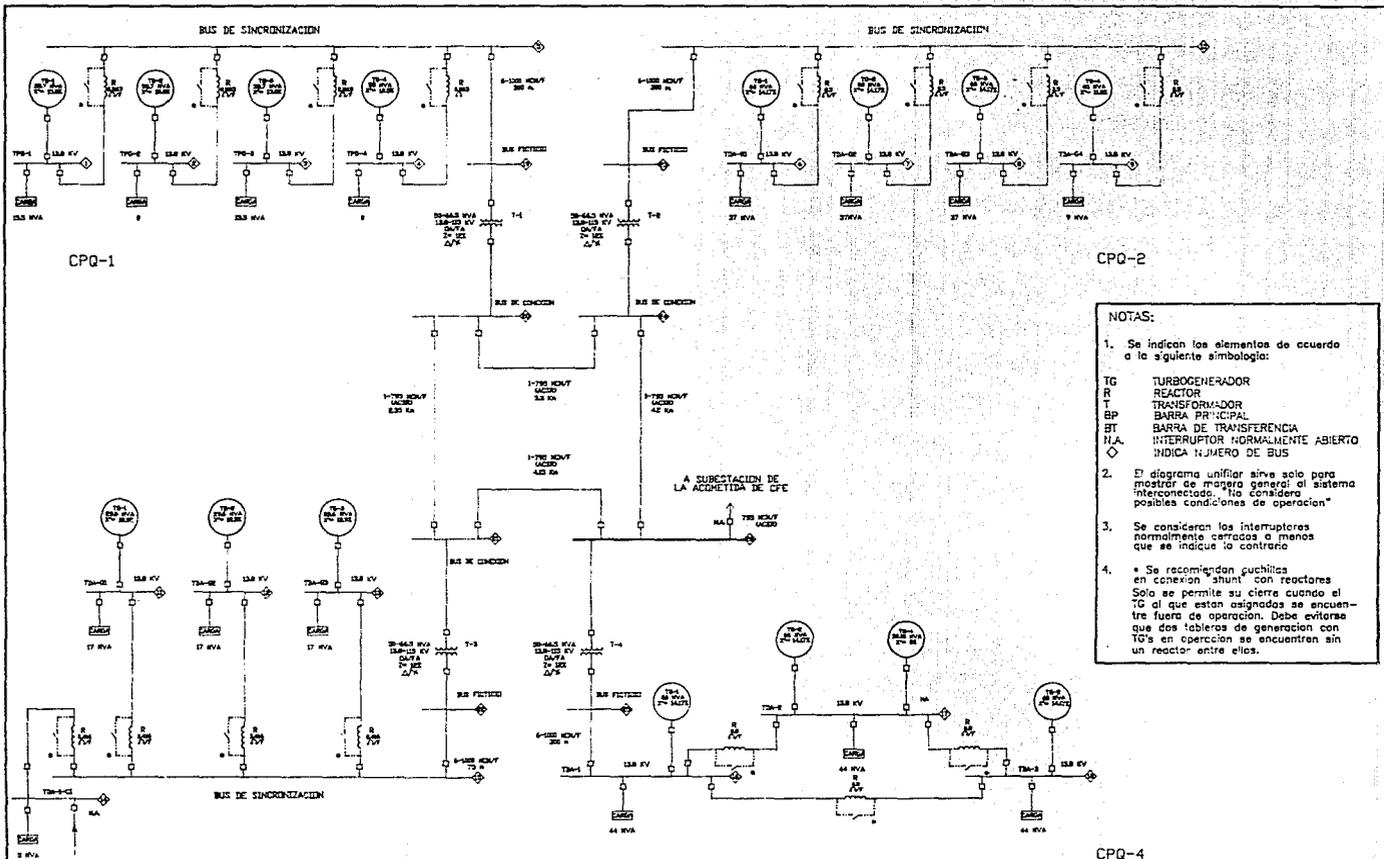


INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

U. N. A. M.  
E. N. E. P.  
A R A G O N  
INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA

DIBUJO	V.F.E.
PROYECTO	V.F.E.
APROBO	R.V.V./P.R.M.
FECHA	MARZO 1989

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS	
UNIFILAR GENERAL SIMPLIFICADO	
UE-0	RADIAL



- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a lo siguiente simbolismo:
    - TG TURBOGENERADOR
    - R REACTOR
    - T TRANSFORMADOR
    - BP BARRA PRINCIPAL
    - ET BARRA DE TRANSFERENCIA
    - I INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO
    - INDICA NUMERO DE BUS
  - El diagrama unifilar sirve solo para mostrar de manera general al sistema interconectado. No considera posibles condiciones de operación.
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique lo contrario.
  - Se recomiendan puchitas en conexión shunt con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que están asignados se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que dos tableros de generación con TG's en operación se encuentren sin un reactor entre ellos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	U. N. A. M. E. N. E. P. A. R. A. G. O. N INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	DIBUJO	V.F.E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS <b>UNIFILAR GENERAL SIMPLIFICADO</b> UE-00 ANILLO
		PROYECTO	V.F.E. I.C.T./A.R.G.	
		APROBADO	R.V.V./P.R.M.	
		FECHA	MARZO 1993	

## CAPITULO IV

### ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

#### IV.1. CALCULO DE FALLAS

Se considera como *falla*, cualquier alteración que interfiera de alguna manera el flujo de la corriente dentro de un conductor hacia los elementos que conforman la red de nuestro sistema. Esta alteración es comúnmente conocida como "corto circuito".

Es esencial un análisis de corto circuito en cualquier planta o industria, ya que de su correcto estudio, se obtendrá la información necesaria para seleccionar el equipo de protección que nos detectará rápidamente la existencia de una falla y nos ayudará a minimizar los posibles daños que se deriven de ella.

El primer paso para realizar el cálculo de fallas, consiste en realizar un diagrama unifilar donde se muestren todos los elementos que intervienen en el sistema. La representación de estos elementos es estandarizada y, junto a cada uno de ellos se deberán anotar sus características más importantes, esencialmente, pueden ser los valores que se encuentran en la placa que todo equipo trae de fabricación.

Una vez que se tiene el diagrama unifilar, el siguiente paso es determinar que tan exhaustivo será el estudio que se quiere realizar.

Hay cinco posibilidades dentro de un sistema trifásico para el corto circuito:

1. *Falla trifásica.* Es cuando las tres fases se cortocircuitan.
2. *Falla bifásica.* Esta es cuando dos de las tres fases entran en contacto.
3. *Falla bifásica a tierra.* Además de que dos fases entran en corto, existe un contacto a tierra.
4. *Falla de fase a tierra.* Una de las tres fases presenta un corto circuito con la tierra.

- 5 **Falla trifásica a tierra.** Además de que existe un corto circuito entre las tres fases, se encuentra un contacto a tierra.

Para la mayoría de los sistemas eléctricos de potencia, el estudio de corto circuito que se realiza es el trifásico, ya que este nos determina las características más severas que se encuentran en caso de que exista una falla.

Un método comúnmente usado para realizar el estudio de corto circuito consiste en utilizar el método de las componentes simétricas, en el cual, cualquier tipo de sistema desequilibrado (sistema trifásico), puede descomponerse en tres sistemas equilibrados. Los conjuntos equilibrados de componentes son:

- 1 Componentes de secuencia positiva, formados por tres vectores de igual módulo, con diferencias de fase de  $120^\circ$  y con la misma secuencia de fase que el sistema original.
- 2 Componentes de secuencia negativa, formados por tres vectores de igual módulo, con diferencias de fase de  $120^\circ$  y con la secuencia de fase opuesta a la de el sistema original.
- 3 Componentes de secuencia cero, formados por tres vectores de igual módulo y en fase.

Suponiendo un sistema desbalanceado de tres vectores, donde cada uno de los vectores desequilibrados originales es igual a la suma de sus componentes, los vectores originales expresados en función de sus componentes serían:

$$a = a_0 + a_1 + a_2 \quad (1)$$

$$b = b_0 + b_1 + b_2 \quad (2)$$

$$c = c_0 + c_1 + c_2 \quad (3)$$

Para poder simplificar las ecuaciones anteriores, se recurre al operador  $a$ . Este operador origina una rotación de  $120^\circ$  cuando se aplica a un vector. Si utilizamos este vector y lo introducimos por medios algebraicos a las ecuaciones (1), (2) y (3) obtenemos después del análisis que:

$$\begin{array}{ll} b_1 = a^2 a_1 & c_1 = a a_1 \\ b_2 = a a_2 & c_2 = a^2 a_2 \\ b_0 = a_0 & c_0 = a_0 \end{array}$$

Sustituyendo las igualdades anteriores y expresando las ecuaciones resultantes en forma matricial, obtenemos:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a_2 \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Desarrollando operaciones matriciales, podemos encontrar la expresión matricial que nos muestra como descomponer tres vectores asimétricos en sus componentes simétricas:

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ b_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

Un estudio completo para el método de las componentes simétricas puede observarse en los libros que vienen incluidos en la bibliografía que se muestra al final de este documento; por el momento, nos concretaremos a dar como conclusión de este método que:

*Esta teoría se puede aplicar tanto a voltajes como a corrientes.*

*Es aplicable a cualquier tipo de las fallas indicadas anteriormente.*

*En una falla trifásica balanceada la única red que interviene es la de secuencia positiva.*

*Para la solución de cálculo de fallas, existen algoritmos computacionales que facilitan al investigador la obtención de resultados satisfactorios. El grado de precisión en los resultados obtenidos por un programa, puede ser tan grande como se requiera en la aplicación particular que se tenga.*

Dentro del Instituto de Investigaciones Eléctricas, se cuenta con un programa que realiza estos cálculos. Este programa sigue la metodología indicada en el LIBRO ROJO (RED BOOK), misma que está basada en la Norma ANSI/IEEE 141-1986 y será el que nos ayudará a la solución del problema particular que se encuentra en estudio.

#### IV.2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA CORTO

El programa de cómputo llamado "CORTO" realizado en el IIE, dentro de la División de Sistema Eléctricos, tiene implementadas las recomendaciones de la norma ANSI/IEEE 141-1986 para estudios de cortocircuito en sistemas industriales y se ha aplicado con buenos resultados durante los últimos años en estudios de plantas industriales y servicios auxiliares de plantas generadoras. Este es el programa que se utilizará como auxiliar en los cálculos para este proyecto.

Las especificaciones para este programa son las siguientes:

COMPUTADOR	PROGRAMA
MARCA: DIGITAL	NOMBRE: CORTO
SIST. OP.: VAX/VMS	LENGUAJE: FORTRAN
MODELO: VAX 11/780	VERSION: V4.1-45
	LINEAS DE CODIGO: 1800
	CAPACIDAD: 1000 BUSES
MARCA: IBM	NOMBRE: CORTO
SIST. OP.: DOS	LENGUAJE: FORTRAN
MODELO: COMPATIBLE	VERSION: -----
	LINEAS DE CODIGO: 1696
	CAPACIDAD: 200 BUSES

El programa consta de un programa principal y varias subrutinas. Es un programa iterativo. Para su ejecución se deberán proporcionar a través del teclado de una terminal o PC las instrucciones en el orden que se indica en la siguiente lista:

- A) NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA (DATOS)[.DAT]
- B) NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA (RESULTADOS)[.SOL]
- C) NOMBRE DEL ARCHIVO DE ERRORES [.ERR]
- D) CANTIDAD DE REDES QUE SE DESEAN ESTUDIAR EN LA SESION<sup>7</sup>

#### IV.2.1. DESCRIPCION DEL METODO DE LA NORMA ANSI/IEEE 141-1986<sup>8</sup>

Este método se basa en la formación de tres redes sobre las que se analizará el comportamiento de las corrientes cuando exista un corto circuito. Cada red se diferencia de las otras por el valor de impedancia de las máquinas rotatorias, el cual será diferente para cada una de las redes. Para el cálculo de las corrientes de corto circuito se emplea la aplicación de ciertos factores, que dependen del punto del sistema sobre el que se analice la falla, del factor X/R de los equivalentes correspondientes del sistema reducido, tiempo en que se incide la apertura de los contactos primarios del interruptor y uso de la corriente calculada.

##### IV.2.1.1. PRIMERA RED

En esta red se calcula la corriente que circulará durante el primer ciclo después de haber ocurrido la falla (corrientes de corto circuito momentáneas). Para la obtención de esta red deben de tomarse en cuenta las reactancias subtransitorias de todas las fuentes de corriente que contribuyen al cortocircuito y los elementos estáticos. Se consideran los motores menores de 50 HP agrupados en un equivalente. Los valores de impedancia de las máquinas rotatorias se afectan por los valores que se indican en las tablas 24 y 25 de la Std. ANSI/IEEE 141-1986.

El empleo que se le da a esta corriente de primera red es el de selección de capacidades de fusibles y/o interruptores, tanto para corrientes de corto circuito simétricas y asimétricas. El factor de asimetría se determina de acuerdo a las siguientes normas:

<sup>7</sup> Ver el punto siguiente "DESCRIPCION DEL METODO..."

<sup>8</sup> Información obtenida de los apuntes del "CURSO DE PROTECCIONES ELECTRICAS". Impartido por los Ingenieros Enrique Díaz de la Serna y J. Rubén Realvarez G., del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

PARA:	NORMA:
FUSIBLES	ANSI/IEEE C37.41-1981
INTERRUPTORES EN BAJA TENSION (MENOS DE 1 KV)	ANSI C37.13
INTERRUPTORES EN MEDIA Y ALTA TENSION (> 1KV)	ANSI/IEEE C37.010-1979 y ANSI/IEEE C37.5-1979.

#### IV.2.1.2. SEGUNDA RED.

" Con esta red se obtiene la corriente interruptiva de cortocircuito que ocurre en el momento en que los contactos del interruptor inician su apertura, los resultados deberán usarse para selección de interruptores en media y alta tensión (arriba de 1KV).

Durante la elaboración de esta red se deben afectar las impedancias subtransitorias de las máquinas rotatorias por los factores indicados en las tablas 24 y 25 de la Norma.

Con la relación X/R de los circuitos equivalentes interruptivos al punto de falla, se determina el factor de multiplicación utilizando las curvas de las figuras 101, 102, 103 o 104 de la Norma ANSI/IEEE 141-1986. La norma recomienda usar siempre factores de multiplicación remotos que impondrían las condiciones más severas de falla.

En esta red se desprecian los motores agrupados de capacidades menores de 50 HP."

#### IV.2.1.3. TERCERA RED.

" Con esta red se obtienen las corrientes que se requieren para el cálculo de los ajustes de relevadores con retardo de tiempo (mayor a 6 ciclos).

El circuito equivalente de la red que se utiliza, deberá elaborarse considerando

únicamente los valores de impedancia transitoria de los generadores e impedancias de los equipos estáticos (cables, transformadores, reactores, etc.), instalados entre ellos y los puntos de falla, despreciando las contribuciones de todos los motores.

*El factor de multiplicación para esta red es de 1.0 para todos los casos.*

*En los ajustes de los relevadores instantáneos se utilizan las corrientes momentáneas de cortocircuito obtenidas en la primera red."*

*Como esta red se utiliza para el ajuste de las protecciones, no se realizará su cálculo dentro de este estudio, ya que este punto sale del alcance propuesto.*

#### IV.2.2. EDICION DEL ARCHIVO DE DATOS

*Para poder correr el programa digital CORTO, es necesario editar el archivo de datos (.DAT). Este archivo contendrá toda la información que se necesita para la ejecución del programa. Dicha información se toma del diagrama unifilar y consistirá de lo siguiente:*

- 1. Nombre del proyecto.*
- 2. Potencia base.*
- 3. Cantidad de buses.*
- 4. Topología general de la red.*
- 5. Datos individuales de cada elemento.*
- 6. Identificación de buses.*
- 7. Niveles de tensión base.*
- 8. Cantidad de transformadores.*
- 9. Datos de los interruptores.*

*Este archivo se crea en el editor de la computadora o terminal y debe cumplir con un formato específico, que no se describe a fondo en este documento por no ser parte del análisis en cuestión; sin embargo, si se desea una mayor descripción, puede recurrirse al Departamento de Ingeniería, División de Sistemas Eléctricos del IIE.*

*A continuación se muestra la primera parte del archivo de datos llamado "RADIAL.DAT", a manera de ejemplo, con el fin de visualizar la forma en que se elaboran los archivos de datos para el programa. El archivo completo se muestra en el APENDICE A.*

## INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-0

10,0,27

1,5,1

1

nombre del proyecto  
potencia base y número total de buses  
entre el bus 1 y el 5 existe 1 elemento  
el primer elemento se describe enseguida

6

0,263,13,8,0,70

2,5,1

1

6

...

...

0,0,0

2 (RAMAL BUS 1)

1

8

15,8,15,8,33,7,13,8,13,8,80

1

9

16622,13,8,13,8,0,0

...

...

000

2 (RAMAL BUS 1)

1

8

15,8,24,22,33,7,13,8,13,8,80

1

9

16622,13,8,13,8,0,0

1 (RAMAL BUS 2)

...

...

001 BUS 1

13,8,1,5,3,1

es un reactor  
Impedancia, voltaje base, variable, rel. X/R  
entre el bus 2 y el 5 existe 1 elemento  
el primer elemento se describe enseguida  
es un reactor  
...  
...  
indica fin de datos de enlaces en buses  
indica el número de ramales en el bus 1  
un elemento en serie conectado al primer ramal  
el elemento es un generador  
X subtrans., X trans., potencia en WVA, volts de las  
reactancias, voltaje base, X/R  
un elemento en serie conectado al segundo ramal  
el elemento son motores agrupados  
HP's, Volts del grupo de motores, Volts del bus, X/R  
...  
...  
indica fin de datos  
SE DAN LOS DATOS DE CADA BUS. Se tienen dos ramales en el bus 1  
El primer ramal tiene un elemento en serie  
El elemento es un generador  
Datos del generador  
El segundo ramal tiene un elemento en serie  
El elemento son motores agrupados  
Datos de los motores agrupados  
Se tiene un ramal en el bus 2  
...  
...  
SE DAN LOS VALORES DE LOS BUSES QUE SE DESEAN ANALIZAR. Bus 1  
Voltaje del bus, indicador para el programa, ciclos del int.,

ciclos de apertura del int., indicador para el program

002 BUS 2

Bus 2

...

...

000

Indica fin de archivo

#### IV.2.3. ARCHIVOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA "CORTO"

El programa "CORTO", una vez que lee el archivo de datos iniciará los cálculos matemáticos, arrojando los siguientes resultados:

- Listado de resultados de impedancias
- Listado de resultados de corto circuito trifásico
- Resumen de resultados.

1.- Listado de resultados de impedancias. Este listado contendrá la información de las impedancias de todos los elementos que forman la red, dando indicaciones del elemento que es, en que bus se encuentra, si es un elemento de enlace o de ramal y la relación X/R. Los valores de Impedancia están en forma rectangular y en por unidad.

2.- Listado de resultados de corto circuito trifásico. Estos resultados serán para los buses en los cuales se quiera saber el comportamiento de las corrientes, dado que existiera una falla. Se obtendrán valores de Potencia (simétrica y asimétrica), corriente (simétrica y asimétrica), y voltaje en el bus. También arroja resultados de las aportaciones de corrientes de cada uno de los buses con los que se enlaza.

3.- Resumen de resultados. Este archivo nos dará las magnitudes momentáneas para fusible e interruptores, magnitudes interruptivas (apertura de contactos) para interruptores en alta tensión (mayores a 1 kV) y/o magnitudes de cortocircuito para el ajuste de relevadores con retardo de tiempo.

NOTA.- Los listados que se mencionaron, pueden ser obtenidos para cualquiera de las tres redes que se quiera estudiar y para cualquier caso que se tenga.

## IV.3. CALCULO DE IMPEDANCIAS.

Como se mencionó en el punto IV.2.3, el programa calcula las impedancias de todos los elementos del sistema; sin embargo a manera de ejemplo, en esta sección se desarrollarán las ecuaciones para obtener las impedancias de los elementos que conforman el complejo petroquímico CPQ-1.

## IV.3.1. CALCULO DE IMPEDANCIA PARA REACTORES

Datos:

$$P_{BASE} = 10 \text{ MVA}$$

$$V_{BASE} = 13.8 \text{ KV}$$

$$R = 0.263$$

$$X/R = 70\%$$

$$Z'' = R + jX$$

$$Z_{pu} = Z_{\Omega} \frac{\text{MVA}_B}{\text{KV}_B^2}$$

$$R_{pu} = \frac{Z_{pu}}{\sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2}}$$

$$X_{pu} = R_{pu} \left(\frac{X}{R}\right)$$

$$Z_{pu} = 0.263 * \frac{10}{13.8^2} = 0.01381$$

$$R_{pu} = \frac{0.01381}{\sqrt{1+70^2}} = 0.00019$$

$$X_{pu} = 0.00019 * (70) = 0.0138$$

La impedancia se tomará para primera y segunda red por ser elementos pasivos

## IV.3.2. CALCULO DE IMPEDANCIA PARA GENERADORES.

DATOS:

$$P_{BASE} = 10 \text{ MVA}$$

$$V_{BASE} = 13.8 \text{ KV}$$

Para TG1, TG2 y TG3:

$$P = 33.7 \text{ MVA}$$

$$V = 13.8 \text{ KV}$$

$$X' = 15.8 \%$$

$$X/R = 70$$

$$Z'' = R + jX$$

$$X_{pu} = X'' \frac{\text{MVA}_B}{\text{MVA}_{GEN}} \frac{\text{KV}}{\text{KV}_B}$$

$$R_{pu} = \frac{X''}{X/R}$$

$$X_{pu} = 0.158 = \left( \frac{10}{33.7} \right) \cdot 1 = 0.04688$$

$$R = \frac{0.04688}{70} = 0.00066$$

$$Z'' = 0.00066 + j0.04688$$

PARA TG4:

$$P = 33 \text{ MVA}$$

$$V = 13.8 \text{ KV}$$

$$X' = 12.5 \%$$

$$X/R = 70$$

$$X_{pu} = X'' \frac{MVA_B}{MVA_{GEN}} \frac{KV}{KV_B}$$

$$Z'' = R + jX$$

$$R_{pu} = \frac{X''}{X/R}$$

$$X_{pu} = 0.125 * \left(\frac{10}{33}\right) * 1 = 0.03787$$

$$R = \frac{0.03787}{70} = 0.00054$$

$$Z'' = 0.00054 + j0.03787$$

La impedancia de los generadores se toma para primera y segunda red según la norma.

#### IV.3.3. CALCULO PARA TRANSFORMADORES.

DATOS:

$$P_{BASE} = 10 \text{ MVA}$$

$$V_{BASE} = 13.8 \text{ kV en B.T.}$$

$$= 115 \text{ kV en A.T.}$$

Para todos los transformadores:

$$P = 50 - 66.5 \text{ MVA}$$

$$V = 13.8/115 \text{ kV}$$

ENFRIAMIENTO OA/FA

IMPEDANCIA  $Z = 12\%$

$$X/R = 29.2$$

La relación X/R es de acuerdo al estándar ANSI C37.010-1979 y de la "Interpretation of New American National Standards for Power Circuit Breaker Applications".

$$Z'' = R + jX$$

$$R_{pu} = \frac{Z_{pu}}{\sqrt{1 + (X/R)^2}}$$

$$X_{pu} = R_{pu} \left( \frac{X}{R} \right)$$

$$Z_{pu} = \frac{\%Z}{100} \frac{P_B}{MVA} \left( \frac{V}{V_B} \right)^2$$

$$Z_{pu} = \frac{12}{100} * \frac{10}{50} * 1^2 = 0.018045$$

$$R_{pu} = \frac{0.018045}{\sqrt{1+29.2^2}} = 0.0006$$

$$X_{pu} = 0.0006 * 29.9 = 0.017$$

$$Z_{pu} = 0.0006 + j0.017$$

La impedancia se tomará para primera y segunda red por ser elementos pasivos.

#### IV.3.4. CALCULO PARA CARGAS.

DATOS:

$$P_{BASE} = 10 \text{ MVA}$$

$$V_{BASE} = 13.8 \text{ KV}$$

Para cargas de TG1 y TG3:

$$P = 15.5 \text{ MVA} = 16622 \text{ HP con f.p.} = 0.8$$

$$X/R = 6.6$$

Para la impedancia momentánea.

$$Z_{\text{don}} = R + jX$$

$$X_{\text{pu}} = 0.25 \left( \frac{\text{MVA}_B}{\text{MVA}} \right)$$

$$R_{\text{pu}} = \frac{X_{\text{pu}}}{X/R}$$

$$X_{\text{pu}} = 0.25 * \left( \frac{10}{15} * 5 \right) * 1 = 0.16129$$

$$R_{\text{pu}} = \frac{0.16129}{6.6} = 0.02443$$

$$Z_{\text{don}} = 0.16129 + j0.02443$$

Para el valor de impedancia interruptiva:

$$Z_I = 1.5 Z_{\text{don}}$$

$$Z_I = 0.24193 + j0.03664$$

Los valores de  $Z_{\text{don}}$  se consideran para primera red y los de  $Z_I$  para segunda red.

## IV.3.5. CALCULO DE CONDUCTORES.

## IV.3.5.1. SELECCION DE LOS CABLES PARA LA INTERCONEXION.

Tenemos que para baja tensión, buses 5 a 19, 10 a 23, 15 a 22 y 16 a 25, tenemos una potencia máxima a transmitir de 66.5 MVA, con un voltaje de 13.8 kV; encontramos la corriente de la siguiente forma:

$$S = \sqrt{3}VI \rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3}V}$$

$$I = \frac{66.5^6}{\sqrt{3} * 13.8^3} = 2782.1589 \text{ A}$$

Con este valor de corriente podemos entrar a tablas, en las que se marca que el máximo calibre de un cable es el de 1000 MCM, con una capacidad de corriente mínima de 780A para conductores de cobre y de 760A aproximadamente para conductores de aluminio reforzados en acero (ACSR); utilizaremos este último. Si nos basáramos únicamente a este dato, tendríamos que utilizar cuatro conductores por fase para poder conducir la corriente. Sin embargo, considerando factores de corrección por temperatura y agrupamiento, (82 y 80% respectivamente), el número de cables que obtenemos es de 6 conductores por fase.

Desarrollando el cálculo para los conductores en alta tensión, con  $P= 66.5 \text{ MVA}$  y  $V= 115 \text{ kV}$ :

$$P = \sqrt{3}VI \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3}V}$$

$$I = \frac{66.5^6}{\sqrt{3} * 115^3} = 333.86 \text{ A}$$

Utilizando este valor, podemos encontrar en tablas que un cable de 336.4 MCM es

capaz de conducir esta corriente; sin embargo, considerando factores de temperatura y efecto corona, tenemos que utilizar un conductor de mayor capacidad. El tipo de conductor usado generalmente es de 477 MCM (ACSR), y será este el que se usará.

Analizando los diagramas unifilares, podemos observar que existen líneas que podrían en algún momento tener que soportar mayores capacidades de corriente. Estas líneas son en la interconexión radial, la que va del bus 26 al 27; y en la interconexión en anillo las líneas de los buses 20-21, 20-24, 21-26 y 24-26. Si se considera que pudiera transmitir un 75% más de la corriente que en el resto de los cables en alto tensión y utilizando conductores de uso general, se escoge un cable de 795 MCM (ACSR).

#### IV.5.3.2. CALCULO DE IMPEDANCIA DE LOS CABLES.

En baja tensión:

DATOS:  $V = 13.8 \text{ kV}$   
 $P_b = 10 \text{ MVA}$   
 CALIBRE = 6-1000 MCM/FASE  
 $l = 300 \text{ m} = 985.2 \text{ ft.}$   
 INSTALADO EN DUCTO SUBTERRANEO.

$$Z = R + jX_1$$

$$X_1 = X_a + X_d$$

DONDE  $X_d$  es el factor de corrección a la reactancia debido al espaciado entre conductores (in) equivalente en triángulo, para obtener un factor de espaciado en Ohm/cond/milla de acuerdo a la sig. expresión:

$$X_d = 0.2794 \log D \text{ [Ohm/cond/milla]}$$

DONDE  $D$  es la separación en pies.

Haciendo las conversiones necesarias, obtenemos lo siguiente:

$$X_d = 0.05291 \log D - 0.057107 \text{ [Ohm# / cond/milla]}$$

CON  $D$  como separación entre conductores en pulgadas.

De catálogos, obtenemos para un cable XLP clase 115 kv un diámetro exterior para calibre 1000 MCM de 47.8 mm. ó 1.8818 in.

De la tabla N1.3 Constantes of Cooper Conductors for 1 ft Symetrical Spacing (IEEE 141-1986), tenemos  $X_a = 0.0785$  [Ohm/cond/1000 ft a 60 Hz.]. Por lo tanto:

$$X_1 = 0.052917 \log(1.8818) - 0.057107 + 0.0758$$

$$X_1 = 0.03322 \text{ [Ohms/cond/1000 ft]}$$

$$X_1 = 0.03322 * \frac{958.2}{1000}$$

$$X_1 = 0.0327 \text{ Ohms/cond}$$

$$X_{1_{pu}} = X_1 \frac{KVA_B \cdot XMG = 3}{KV^2 \cdot XNMG \cdot N^2 \cdot DBCOND. 1000}$$

SUSTITUYENDO Y RESOLVIENDO

$$X_{1_{pu}} = 0.0009$$

$XMG$  y  $XNMG$  son factores de corrección a la reactancia según el tipo de ducto en que estén instalados. Algunos valores típicos se muestran en la Tabla N1.7 de IEEE 141-1986.

$$X_{1_{pu}} = 0.0327 * \frac{10000 = 1.00 * 3}{13.8^2 * 1.0 * 6 * 1000}$$

$$X_{1_{pu}} = .0009$$

TENEMOS que para  $R$ , de acuerdo con la tabla N1.3 (IEEE-141-1986) para un calibre de 1000 MCM:  $R = 0.013$  Ohms/cond/1000 pies a 50°C y 60 Hz, y:

$$R_{pu} = \frac{R = \text{long.} (234.5 + GD) KV_B = 3}{1000 (234.5 + GR) KV^2 \cdot N^2 \cdot DBCOND. 1000}$$

DONDE:

$(234.5 + GD)$  = Factor de corrección por temperatura.

$GD$  = Temperatura a la cual se calcula  $R$  del alimentador en °C; 90 °C según IEEE 141-1986.

$(234.5 + GR)$  = Factor de corrección por temperatura.

GR = Temperatura en °C al que se tabulan los valores de R (50 °C)

$$R_{pu} = \frac{0.013 * 985.2 * 234.5 + 90 * 10000 * 3}{1000 * 234.5 + 50 * 13.8^2 * 6 * 1000}$$

$$R_{pu} = 0.0004$$

Finalmente:

$$Z_{pu} = 0.0004 + j0.0009$$

Para alta tensión:

DATOS:  $V_B = 115$  KV  
 $V = 115$  KV  
 $P_B = 10$  MVA  
 $l = 1.6$  Km (INTERCONEXION RADIAL).  
 LINEA AEREA

Recurriendo a la especificación CFE V6700.41, pag. 5 de 93, se tiene para líneas de distribución y transmisión en 115 KV, con un conductor por fase, una impedancia de secuencia positiva típica de  $Z_1 = 0.134 + j0.484$  ohms/Km; por lo tanto:

$$Z = \text{long.} * Z_1 * \frac{P_B}{V_B^2}$$

$$\Rightarrow Z = 0.00016 + j0.00058$$

## IV.3.6. LISTADO DE IMPEDANCIAS.

El desarrollo de las ecuaciones anteriores, como puede verse es muy grande; por tal motivo para el cálculo de las demás impedancias se empleará el programa "CORTO". Estos valores se observan en el diagrama de impedancias UZ-1 y UZ-2, que representan las interconexiones RADIAL y en AHILLO respectivamente.

INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-0 CONSIDERANDO APORTACION  
DEL SISTEMA NACIONAL  
POTENCIA BASE: 10.00 MVA  
NUMERO TOTAL DE BUSES: 27  
NUMERO DE RED: 1

## IDENTIFICACION DE ELEMENTOS

- 1 CONTRIBUCION DE CFE
- 2 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
- 3 MOTORES DE INDUCCION
- 4 MOTORES SINCRONOS
- 5 CABLE EN DUCTO
- 6 REACTORES
- 7 DATO CONOCIDO (OHMS)
- 8 GENERADORES
- 9 MOTORES DE INDUCCION AGRUPADOS
- 10 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS
- 11 CANTIDADES EN POR UNIDAD
- 12 TRANSFORMADORES DE CUATRO DEVANADOS

DEL BUS	AL BUS	ENLACE	ELEMENTO	R pu	+ Xj pu	X/R
1	5	1	6	.0002	.0138	70.00
2	5	1	6	.0002	.0138	70.00
3	5	1	6	.0002	.0138	70.00
4	5	1	6	.0002	.0138	70.00
5	19	1	5	.0004	.0009	2.23
6	10	1	6	.0003	.0263	80.00
7	10	1	6	.0003	.0263	80.00
8	10	1	6	.0003	.0263	80.00
9	10	1	6	.0003	.0263	80.00
10	23	1	5	.0004	.0009	2.23
11	15	1	6	.0003	.0218	80.00

12	15	1	6	.0003	.0218	80.00
13	15	1	6	.0003	.0218	80.00
14	15	1	6	.0003	.0218	80.00
15	22	1	5	.0000	.0002	2.23
17	18	1	6	.0005	.0420	85.00
16	18	1	6	.0005	.0420	85.00
16	17	1	6	.0005	.0420	85.00
16	25	1	5	.0004	.0009	2.23
19	20	1	2	.0006	.0180	29.20
23	24	1	2	.0006	.0180	29.20
21	22	1	2	.0006	.0180	29.20
25	26	1	2	.0006	.0180	29.20
20	27	1	7	.0000	.0000	1.00
21	27	1	7	.0000	.0000	1.00
24	27	1	7	.0003	.0011	3.61
26	27	1	7	.0003	.0012	3.61

BUS	RAMAL	ELEMENTO	R pu	Xj pu	X/R
1	1	8	.0006	.0469	80.00
1	2	9	.0255	.1685	6.60
2	1	8	.0006	.0469	80.00
3	1	8	.0006	.0469	80.00
3	2	9	.0255	.1685	6.60
4	1	8	.0005	.0379	80.00
6	1	8	.0003	.0236	80.00
6	2	9	.0107	.0706	6.60
7	1	8	.0003	.0236	80.00
7	2	9	.0107	.0706	6.60
8	1	8	.0003	.0236	80.00
8	2	9	.0107	.0706	6.60
9	1	8	.0003	.0262	80.00
9	2	9	.0043	.0281	6.60
11	1	8	.0005	.0436	80.00
11	2	9	.0261	.1725	6.60
12	1	8	.0005	.0436	80.00
12	2	9	.0261	.1725	6.60
13	1	8	.0005	.0436	80.00
13	2	9	.0261	.1725	6.60
14	1	9	.0791	.5222	6.60
16	1	8	.0003	.0236	80.00
16	2	9	.0090	.0593	6.60
17	1	8	.0004	.0297	80.00
17	2	8	.0003	.0236	80.00
17	3	9	.0090	.0593	6.60
18	1	8	.0003	.0236	80.00
18	2	9	.0090	.0593	6.60
26	1	1	.0006	.0062	10.00

INTERCONEXION ELECTRICA ANILLO UE-00 CONSIDERANDO

APORTACION DEL SISTEMA NACIONAL

POTENCIA BASE: 10.00 MVA

NUMERO TOTAL DE BUSES: 26

NUMERO DE RED: 1

IDENTIFICACION DE ELEMENTOS

1 CONTRIBUCION DE CFE

2 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS

3 MOTORES DE INDUCCION

4 MOTORES SINCRONOS

5 CABLE EN DUCTO

6 REACTORES

7 DATO CONOCIDO (OHMS)

8 GENERADORES

9 MOTORES DE INDUCCION AGRUPADOS

10 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS

11 CANTIDADES EN POR UNIDAD

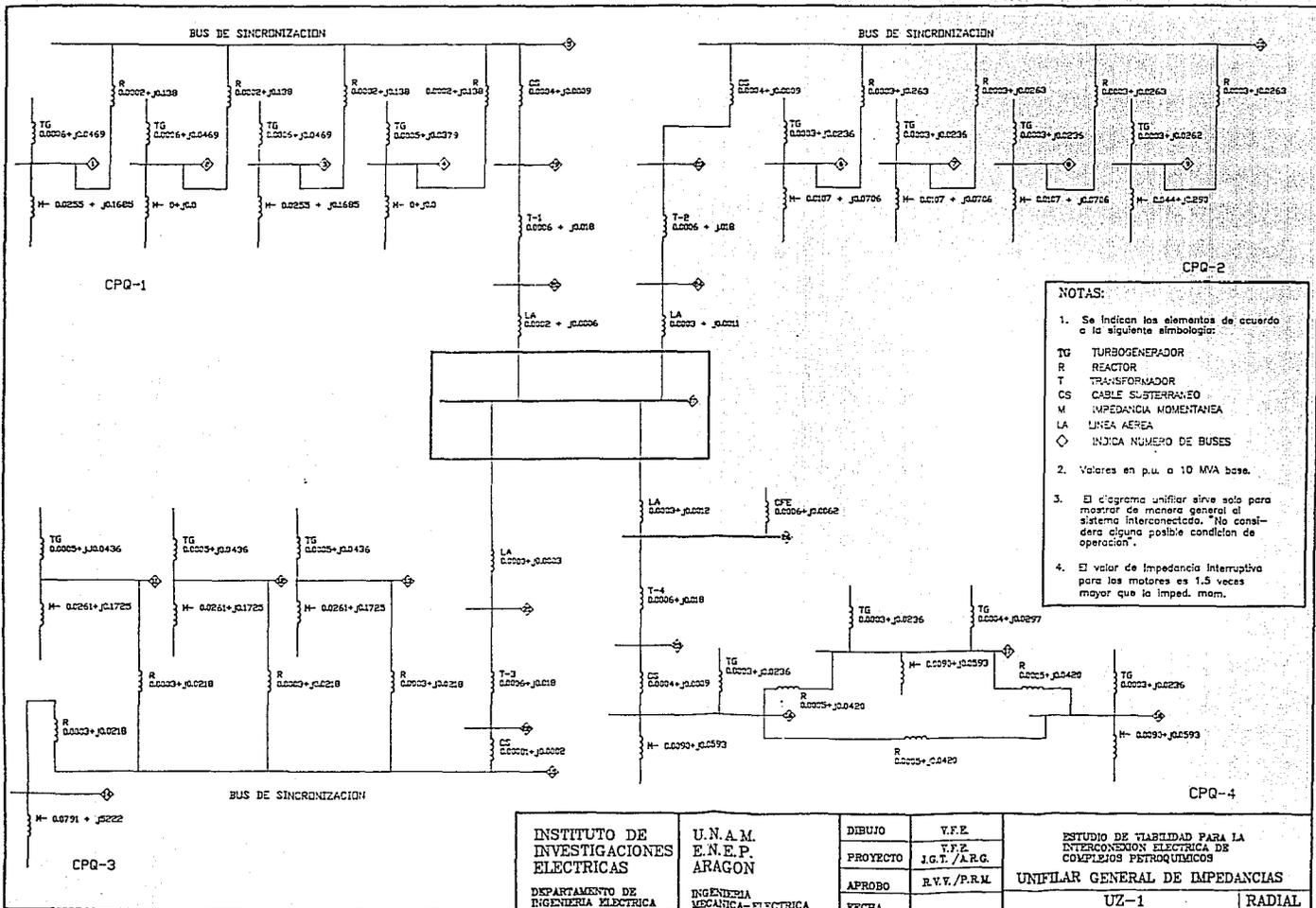
12 TRANSFORMADORES DE CUATRO DEVANADOS

DEL BUS	AL BUS	ENLACE	ELEMENTO	R pu	Xj pu	X/R
1	5	1	6	.0002	.0138	70.00
2	5	1	6	.0002	.0138	70.00
3	5	1	6	.0002	.0138	70.00
4	5	1	6	.0002	.0138	70.00
5	19	1	5	.0004	.0009	2.23
6	10	1	6	.0003	.0263	80.00
7	10	1	6	.0003	.0263	80.00
8	10	1	6	.0003	.0263	80.00
9	10	1	6	.0003	.0263	80.00
10	23	1	5	.0004	.0009	2.23
11	15	1	6	.0003	.0218	80.00
12	15	1	6	.0003	.0218	80.00
13	15	1	6	.0003	.0218	80.00
14	15	1	6	.0003	.0218	80.00
15	22	1	5	.0000	.0002	2.23
17	18	1	6	.0005	.0420	85.00
16	18	1	6	.0005	.0420	85.00
16	17	1	6	.0005	.0420	85.00
16	25	1	5	.0004	.0009	2.23
19	20	1	2	.0006	.0180	29.20
23	24	1	2	.0006	.0180	29.20
21	22	1	2	.0006	.0180	29.20
25	26	1	2	.0006	.0180	29.20

## CAPITULO IV. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

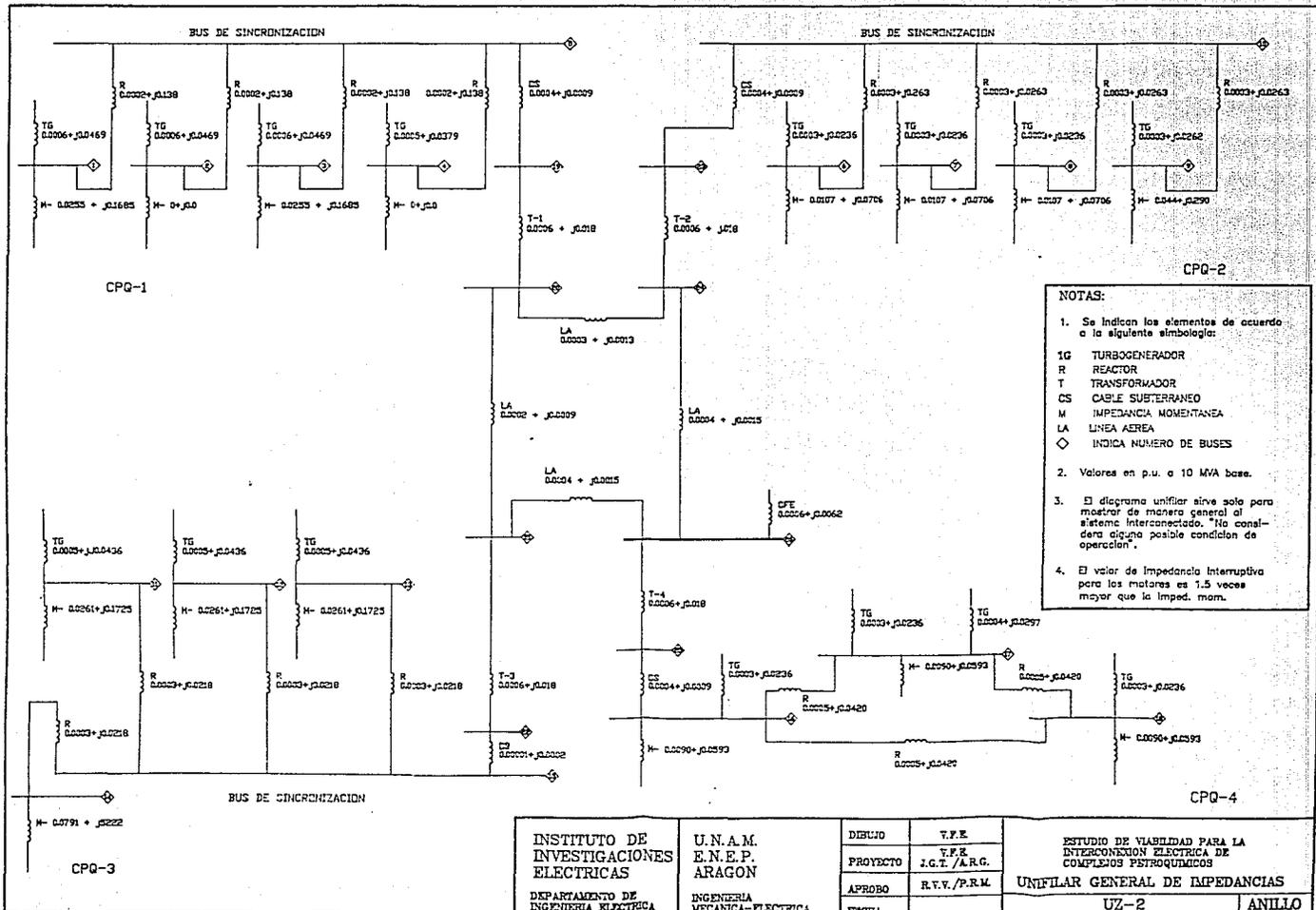
20	21	1	7	.0000	.0000	1.00
20	24	1	7	.0000	.0000	1.00
21	26	1	7	.0000	.0000	1.00
24	26	1	7	.0004	.0015	3.61
26	27	1	7	.0003	.0012	3.61

BUS	RAMAL	ELEMENTO	R pu	Xj pu	X/R
1	1	8	.0006	.0469	80.00
1	2	9	.0255	.1685	6.60
2	1	8	.0006	.0469	80.00
3	1	8	.0006	.0469	80.00
3	2	9	.0255	.1685	6.60
4	1	8	.0005	.0379	80.00
6	1	8	.0003	.0236	80.00
6	2	9	.0107	.0706	6.60
7	1	8	.0003	.0236	80.00
7	2	9	.0107	.0706	6.60
8	1	8	.0003	.0236	80.00
8	2	9	.0107	.0706	6.60
9	1	8	.0003	.0262	80.00
9	2	9	.0043	.0281	6.60
11	1	8	.0005	.0436	80.00
11	2	9	.0261	.1725	6.60
12	1	8	.0005	.0436	80.00
12	2	9	.0261	.1725	6.60
13	1	8	.0005	.0436	80.00
13	2	9	.0261	.1725	6.60
14	1	9	.0791	.5222	6.60
16	1	8	.0003	.0236	80.00
16	2	9	.0090	.0593	6.60
17	1	8	.0004	.0297	80.00
17	2	8	.0003	.0236	80.00
17	3	9	.0090	.0593	6.60
18	1	8	.0003	.0236	80.00
18	2	9	.0090	.0593	6.60
26	1	1	.0006	.0062	10.00



- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:  
 TG TURBOGENERADOR  
 R REACTOR  
 T TRANSFORMADOR  
 CS CABLE SUBTERRANEO  
 M IMPEDANCIA MOMENTANEA  
 LA LINEA AEREA  
 ◊ INDICA NUMERO DE BUSES
  - Valores en p.u. a 10 MVA base.
  - El diagrama unifilar sirve solo para mostrar de manera general al sistema interconectado. No considere alguna posible condicion de operacion.
  - El valor de Impedancia Interruptiva para los motores es 1.5 veces mayor que la imp. mom.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS	U.N.A.M. E.N.E.P. ARAGON	DIBUJO	V.F.E.	ESTUDIO DE FIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS
		PROYECTO	J.G.T./A.R.G.	
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	INGENIERIA MECANICA-ELECTRICA	APROBO	R.V.V./P.R.M.	UNIFILAR GENERAL DE IMPEDANCIAS
		FECHA		UZ-1   RADIAL



INSTITUTO DE  
 INVESTIGACIONES  
 ELECTRICAS  
 DEPARTAMENTO DE  
 INGENIERIA ELECTRICA

U.N.A.M.  
 E.N.E.P.  
 ARAGON  
 INGENIERIA  
 MECANICA-ELECTRICA

DEBIDO	T.F.E.
PROYECTO	T.F.R. I.G.T./A.R.G.
APROBO	R.V.V./P.R.M.
FECHA	

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA  
 INTERCONEXION ELECTRICA DE  
 COMPLEJOS PETROQUIMICOS  
 UNIFILAR GENERAL DE IMPEDANCIAS

UZ-2

ANILLO

**IV.4. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO PARA LA INTERCONEXION**

**IV.4.1. CONDICIONES INICIALES DE OPERACION.**

Las condiciones iniciales para la interconexión, conforme al capítulo II, son:

- a) CPQ-1: Tres turbogeneradores de 33.7 MVA en operación, fuera el turbogenerador de 33 MVA (bus 4), interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 750 MVA, bus de sincronización, cuatro reactores de 0.263 ohms/fase cada uno y cargas totales de 31 MVA.
- b) CPQ-2: Tres turbogeneradores de 60 MVA, interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 1000 MVA y de 750 en el bus 9, bus de sincronización, cuatro reactores de 0.5 ohms/fase cada uno y cargas totales de 120 MVA.
- c) CPQ.3: Tres turbogeneradores de 29.6 MVA, interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 750 MVA, bus de sincronización, cuatro reactores de 0.416 ohms/fase cada uno y cargas totales de 56 MVA.
- d) CPQ-4: Tres turbogeneradores de 60 MVA en operación, fuera el TG-4 de 30.3 MVA, interruptores principales en 13.8 kV con capacidad interruptiva de 1000 MVA, tres reactores de 0.8 ohms/fase cada uno y cargas totales de 132 MVA.

Los interruptores que se encuentran en 115 kV tienen una capacidad interruptiva de 4000 MVA. Todos los interruptores se consideraron de 5 ciclos con apertura de contactos de 3 ciclos.

La Subestación Maestra de enlace se encuentra a un costado del CPQ-3.

---

**IV.4.2. CASOS DE ESTUDIO**

*Las condiciones de operación de los complejos interconectados pueden tener muchas variantes. A continuación se da la descripción de aquellas que representen los casos más relevantes y de los cuales se analiza su comportamiento.*

**IV.4.2.1. INTERCONEXION RADIAL.****I) CASO 1.**

*Se toman las condiciones de operación iniciales (IV.4.1.) enlazando los Centros Petroquímicos mediante líneas aéreas de transmisión en 115 kV. El diagrama unifilar se identifica como UE-5.*

**II) CASO 2.**

*Analizando los resultados del caso 1, se procedió a quitar turbogeneradores en los centros en los que se sobrepasaba la capacidad interruptiva de los interruptores. Con esto, se encontró la capacidad máxima de turbogeneradores con los que puede trabajar cada centro. Esto se puede apreciar en el diagrama unifilar UE-6.*

*Para dar una mayor capacidad al sistema se probó añadir un reactor de 0.8 ohms/fase en el bus 16 entre el bus 16 y la línea de conexión al sistema. Tratando así de disminuir las corrientes de corto circuito. Como resultado tenemos la distribución mostrada en el diagrama unifilar UE-6A.*

**III) CASO 3.**

*Se simularon las mismas condiciones que en el Caso 2 (diagrama unifilar UE-6A), añadiendo la aportación que existiría del Sistema Nacional (CFE) si se cerrara el interruptor que la une con la interconexión, como se muestra en el diagrama unifilar UE-7.*

**IV) CASO 4.**

*Observando los resultados del CASO 3, en el cual se rebasa la capacidad interruptiva en algunos buses, se procedió a quitar un TG en CPQ-1 y otro en CPQ-3,*

observándose esto en el diagrama unifilar UE-8.

v) CASO 5.

*En esta alternativa, se considera la posibilidad de que la demanda propia de cada complejo se encuentre cubierta con solo algunos de sus generadores. De esta forma, el excedente puede ser distribuido a centros de trabajo o Industrias de la región, utilizando como vía la conexión existente con la subestación del Sistema Nacional de CFE. El diagrama unifilar UE-9 nos representa esta posible situación.*

*Para que el CASO de estudio número 5 pueda darse, habría que hacer algunas modificaciones en los elementos que conforman cada CPQ. Estas modificaciones implicarían un desembolso mayor en la instalación de la red de interconexión; sin embargo, daría una mayor flexibilidad y mejor control del sistema. Un par de posibilidades para redistribuir los elementos de cada CPQ se presentan en los diagramas unifilares UE-9A y UE-9B.*

#### IV.4.2.2. INTERCONEXION EN ANILLO

vi) CASO 6.

*Se toman las mismas condiciones que se marcan en IV.4.1. y se observan en el diagrama unifilar UE-10. En base a los resultados se hicieron corridas adicionales quitando generadores. Los resultados obtenidos se explican en el tema final de esta tesis RESULTADOS Y CONCLUSIONES.*

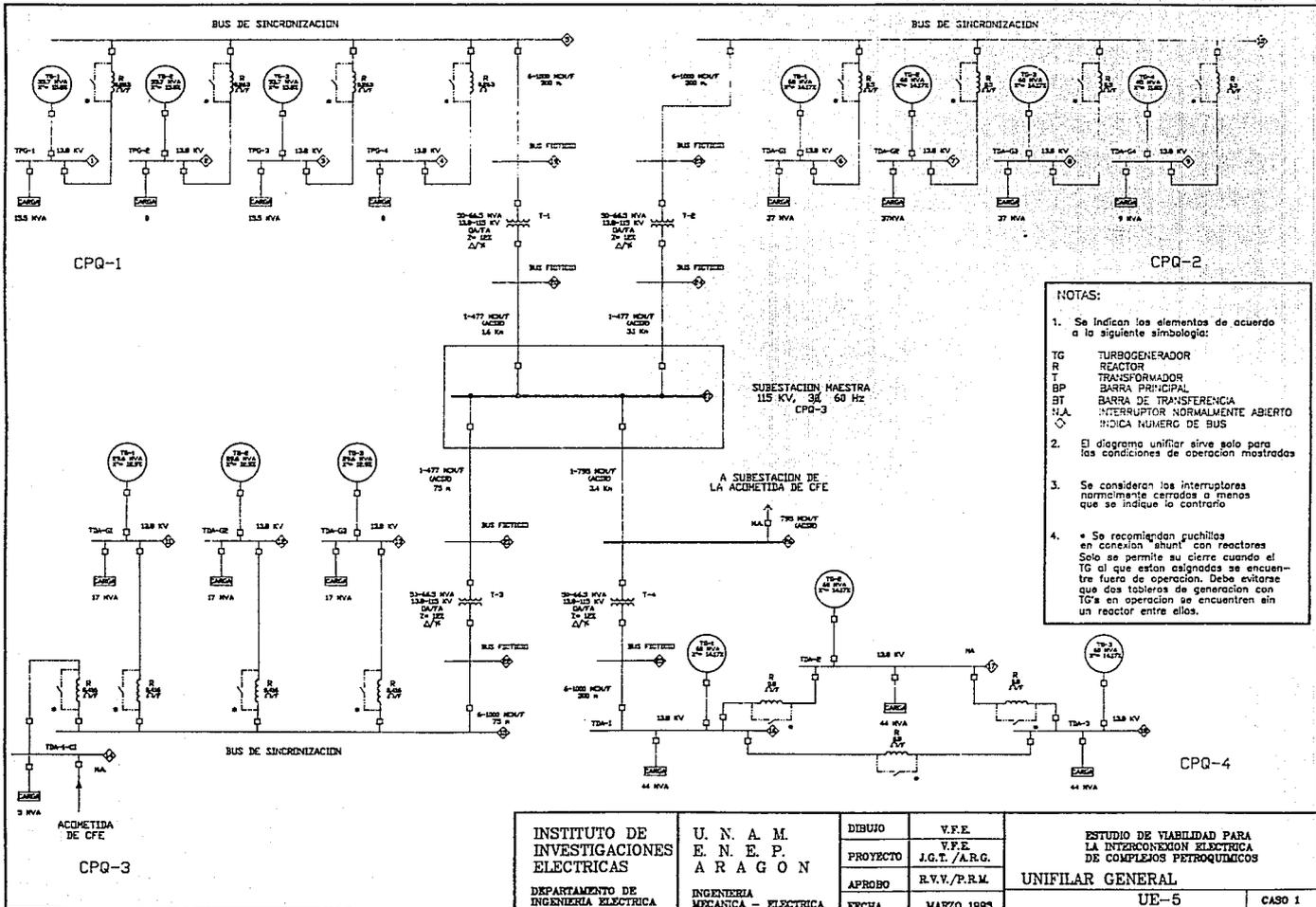
## CAPITULO IV. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

BUS	CASO 1	CASO 2	CASO 2A	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	C.I.
1	623.57	543.94	544.48	570.65	489.37	-----	645.44	750
2	623.57	364.44	364.86	385.96	325.44	-----	645.44	750
3	623.57	543.94	544.48	570.65	325.44	-----	645.44	750
4	425.76	364.44	364.86	385.96	325.44	599.15	444.07	750
5	865.55	364.44	647.26	798.88	591.81	620.42	966.60	750
6	811.81	645.80	734.51	743.30	741.08	-----	817.64	1000
7	811.81	734.28	734.51	743.30	741.08	-----	817.64	1000
8	811.81	734.28	276.27	283.28	281.94	-----	817.64	1000
9	762.81	276.11	276.27	283.28	281.94	699.18	768.60	750
10	1195.02	717.08	718.43	866.51	856.29	603.15	1304.22	1000
11	571.76	519.82	520.24	540.23	486.62	-----	587.50	750
12	571.76	519.82	520.24	540.23	270.94	-----	587.50	750
13	571.62	292.88	293.21	308.44	270.94	538.26	587.50	750
14	330.91	292.88	293.21	308.44	270.94	-----	343.59	750
15	852.35	640.09	641.78	806.89	612.62	607.35	968.47	750
16	1120.32	610.47	863.54	879.61	878.73	229.79	1273.06	1000
17	896.09	819.90	891.37	896.03	895.76	837.01	904.82	1000
18	896.09	819.90	863.54	879.61	878.73	-----	904.82	1000
19	828.78	636.73	638.51	807.52	620.79	646.37	965.05	750
20	1063.53	807.84	815.46	1893.03	1754.31	1702.77	4486.30	4000
21	1082.27	823.62	831.70	1986.72	1841.82	1781.21	4344.33	4000
22	843.81	638.78	640.56	811.71	621.30	615.75	968.92	750
23	1064.09	692.50	694.23	862.39	850.70	626.60	1235.95	1000
24	1045.08	784.42	791.32	1756.00	1651.88	1576.39	4811.79	4000
25	1012.32	605.22	639.01	838.74	832.13	852.77	1212.17	1000
26	1037.52	768.46	629.54	858.08	849.84	2183.36	8797.53	4000 <sup>a</sup>
27	1118.85	846.35	778.21	2375.59	2242.41	1863.46	-----	4000
28	-----	-----	855.03	2081.86	1930.22	-----	-----	4000
	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA

<sup>a</sup>Este valor cambia a 1000 para las consideraciones indicadas en el CASO 2A.

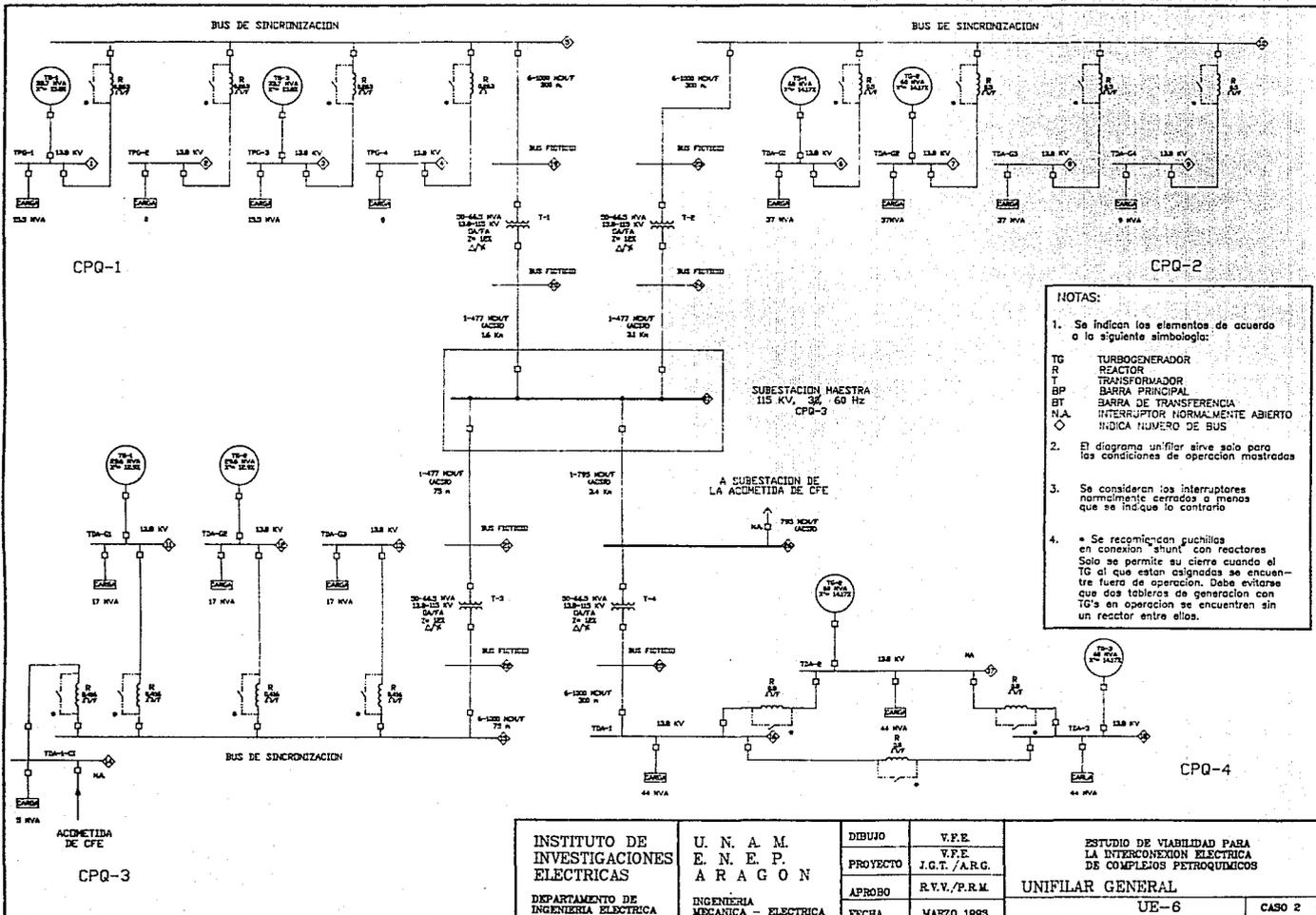
*En la tabla anterior se dan los resultados de todos los casos estudiados para corto circuito. En ella se muestran los valores que sobrepasan las capacidades interruptivas con letra pequeña. Cuando se obtuvieron potencias de corto circuito superiores a las capacidades de los interruptores, se tuvo que eliminar turbogeneradores con el fin de reducirlas.*

*Los resultados que se obtienen de esta tabla pueden ser vistas en el tema final de esta tesis "RESULTADOS Y CONCLUSIONES."*



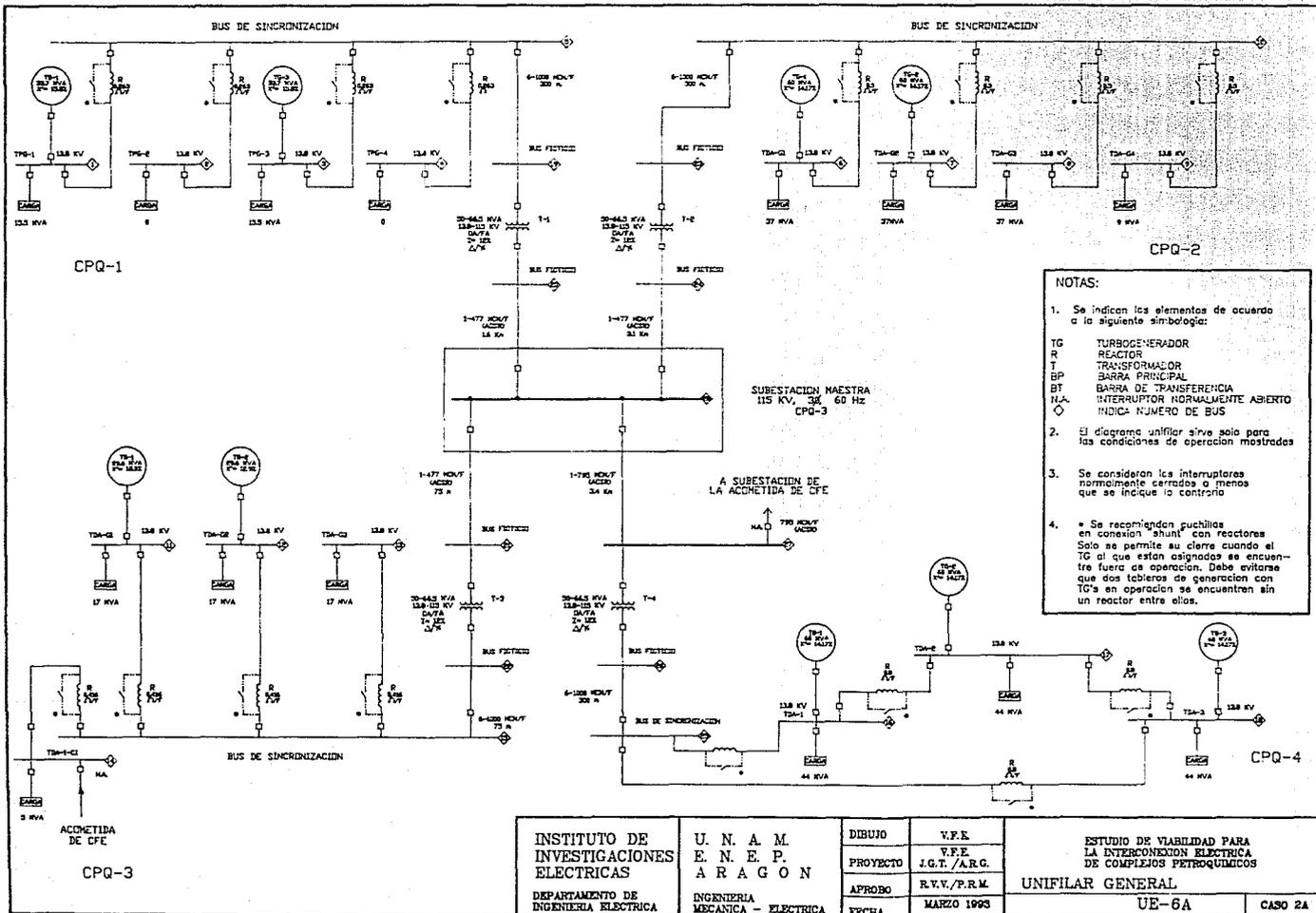
- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:
    - TG TURBOGENERADOR
    - R REACTOR
    - T TRANSFORMADOR
    - BP BARRA PRINCIPAL
    - BT INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO
    - N/A INDICA NUMERO DE BUS
    - ◇ INDICA NUMERO DE BUS
  - El diagrama unifilar sirve solo para las condiciones de operación mostradas.
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique lo contrario.
  - Se recomiendan puchillos en conexión ahunt con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que están asignados se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que dos tableros de generación con TG's en operación se encuentren sin un reactor entre ellos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	U. N. A. M. E. N. E. P. A R A G O N	DIBUJO V.F.E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS <b>UNIFILAR GENERAL</b> UE-5	
	INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	PROYECTO J.G.T./A.R.G.		CASO 1
		APROBADO R.V.V./P.R.M.		FECHA MARZO 1993



- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a lo siguiente simbología:
    - TG TURBOGENERADOR
    - R REACTOR
    - T TRANSFORMADOR
    - BP BARRA PRINCIPAL
    - BT BARRA DE TRANSFERENCIA
    - N.A. INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO
    - ◇ INDICA NUMERO DE BUS
  - El diagrama unifilar sirve solo para las condiciones de operacion mostradas
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique lo contrario
  - \* Se recomiendan puchillos en conexiones shunt con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que estan asignadas se encuentre fuera de operacion. Debe evitarse que dos tableros de generacion con TG's en operacion se encuentren sin un reactor entre ellos.

<b>INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS</b> DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICIA	<b>U. N. A. M.</b> <b>E. N. E. P.</b> <b>A R A G O N</b> INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	DIBUJO	V.F.E.	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS</b> <b>UNIFILAR GENERAL</b> UE-6	CASO 2
		PROYECTO	V.F.E. / I.G.T. / A.R.G.		
		APROBO	R.V.V. / P.R.M.		
		FECHA	MARZO 1983		



CPQ-1

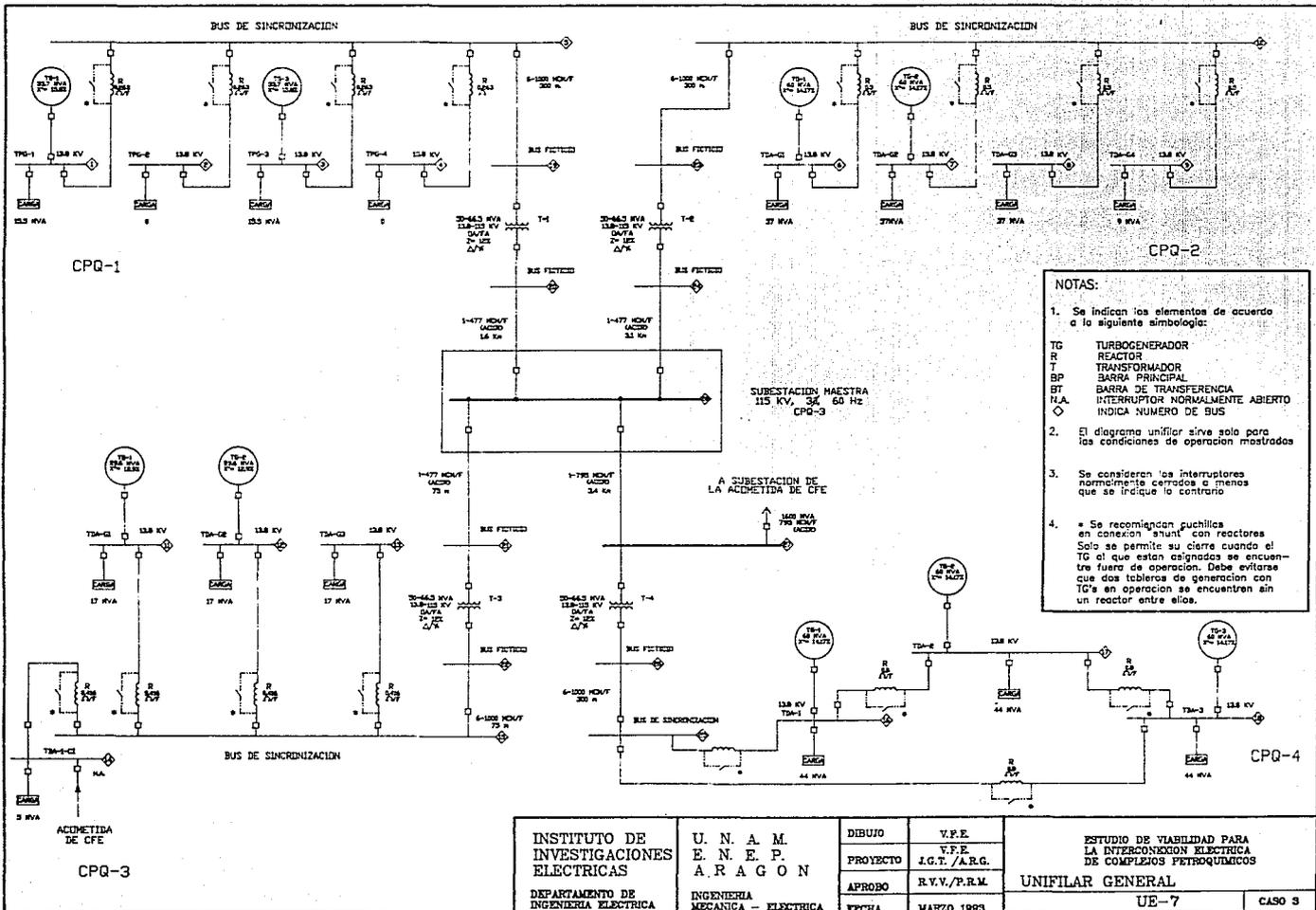
CPQ-2

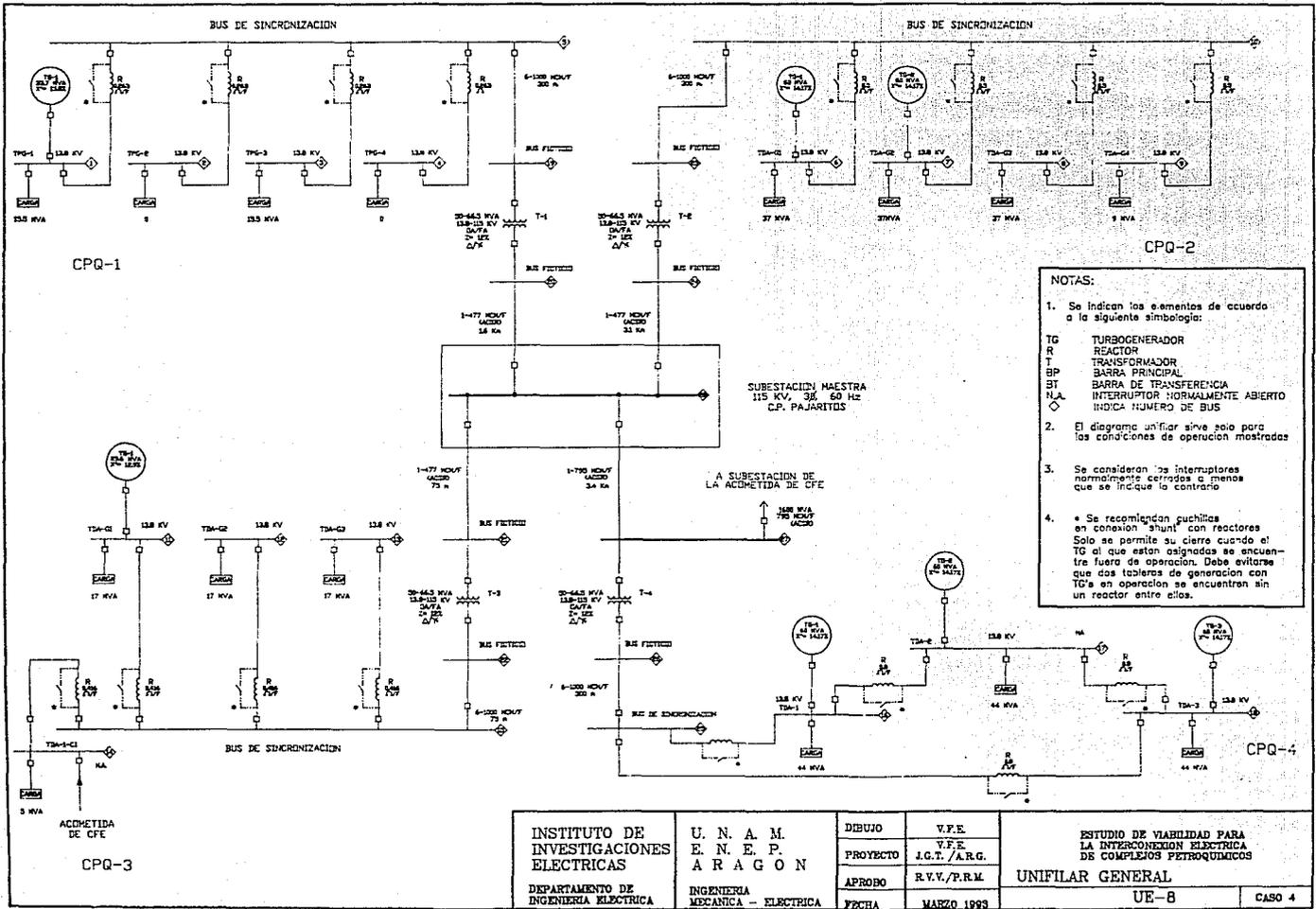
CPQ-3

CPQ-4

- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:
  - El diagrama unifilar sirve solo para las condiciones de operación mostradas.
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados o menos que se indique lo contrario.
  - Se recomiendan puchillos en conexión "shunt" con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que están asignados se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que dos tableros de generación con TCA en operación se encuentren sin un reactor entre ellos.

<b>INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS</b> DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	U. N. A. M. E. N. E. P. <b>A R A G O N</b> INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	DIBUJO	V.F.F.	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS</b> <b>UNIFILAR GENERAL</b> UE-6A	CASO 2A
		PROYECTO	J.G.T./A.R.G.		
		APROBO	R.V.V./P.R.M.		
		FECHA	MARZO 1993		





CPQ-1

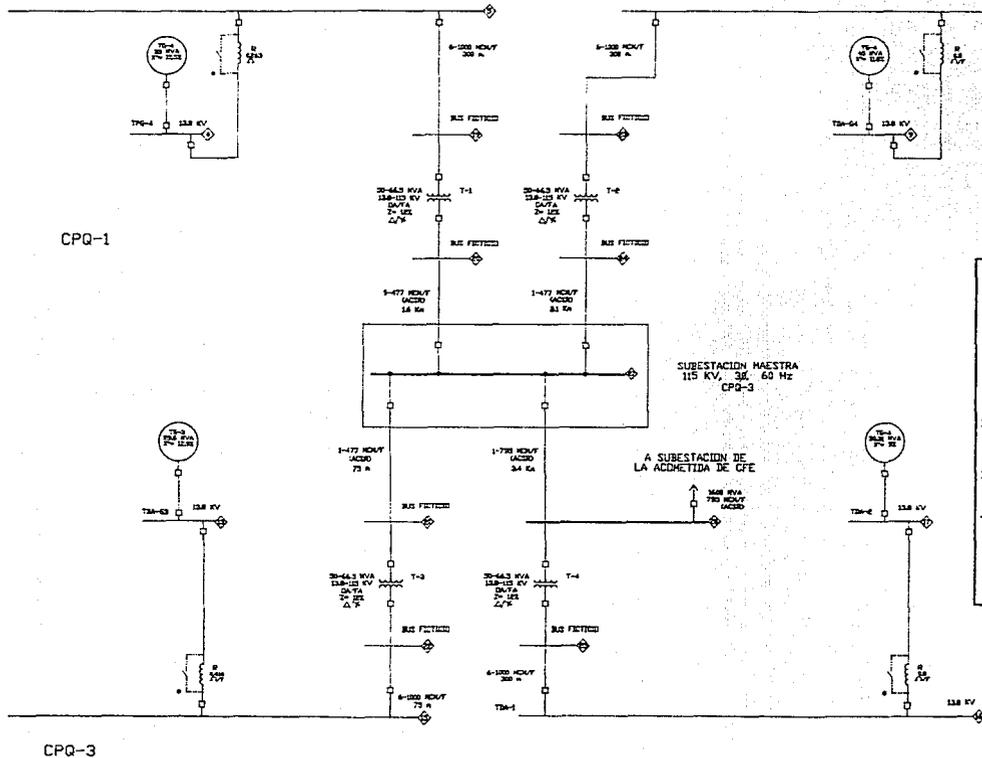
CPQ-2

CPQ-3

CPQ-4

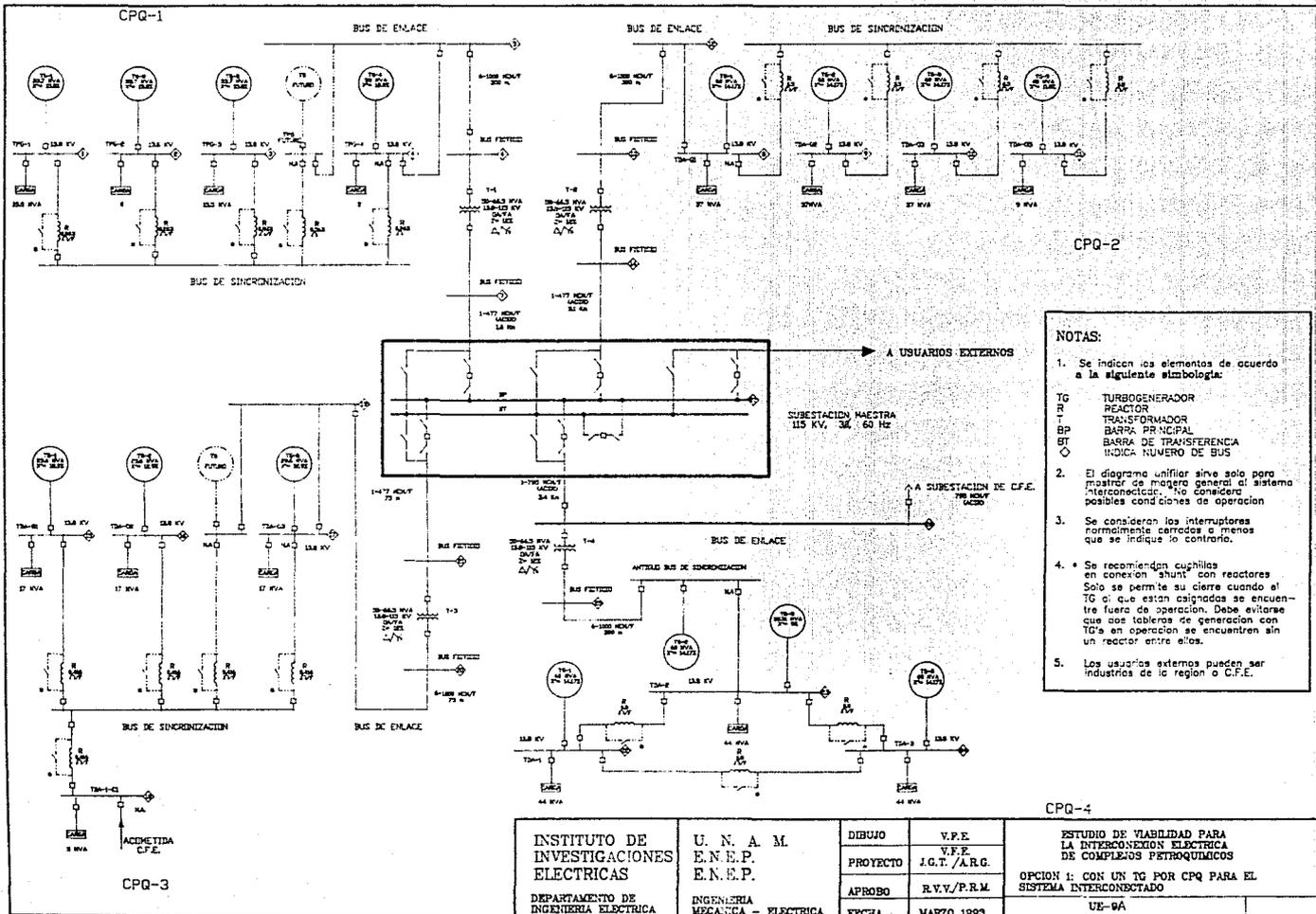
- NOTAS:
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:
    - TG TURBOGENERADOR
    - R REACTOR
    - T TRANSFORMADOR
    - BP BARRA PRINCIPAL
    - BT BARRA DE TRANSFERENCIA
    - N.A. INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO
    - ◇ INDICA NUMERO DE BUS
  - El diagrama unificar sirve solo para las condiciones de operacion mostradas
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados o menos que se indique lo contrario
  - \* Se recomiendan puchitas en conexion shunt con reactores en operacion solo se permite su cierre cuando el TG al que estan enlazados se encuentran fuera de operacion. Debe evitarse que dos tableros de generacion con TG's en operacion se encuentren sin un reactor entre ellos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	U. N. A. M. E. N. E. P. A R A G O N INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	DIBUJO	V.F.E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS UNIFILAR GENERAL UE-8	CASO 4
		PROYECTO	V.F.E. I.G.T./A.R.G.		
		APROBO	R.V.V./P.R.M.		
		FECHA	MARZO 1975		



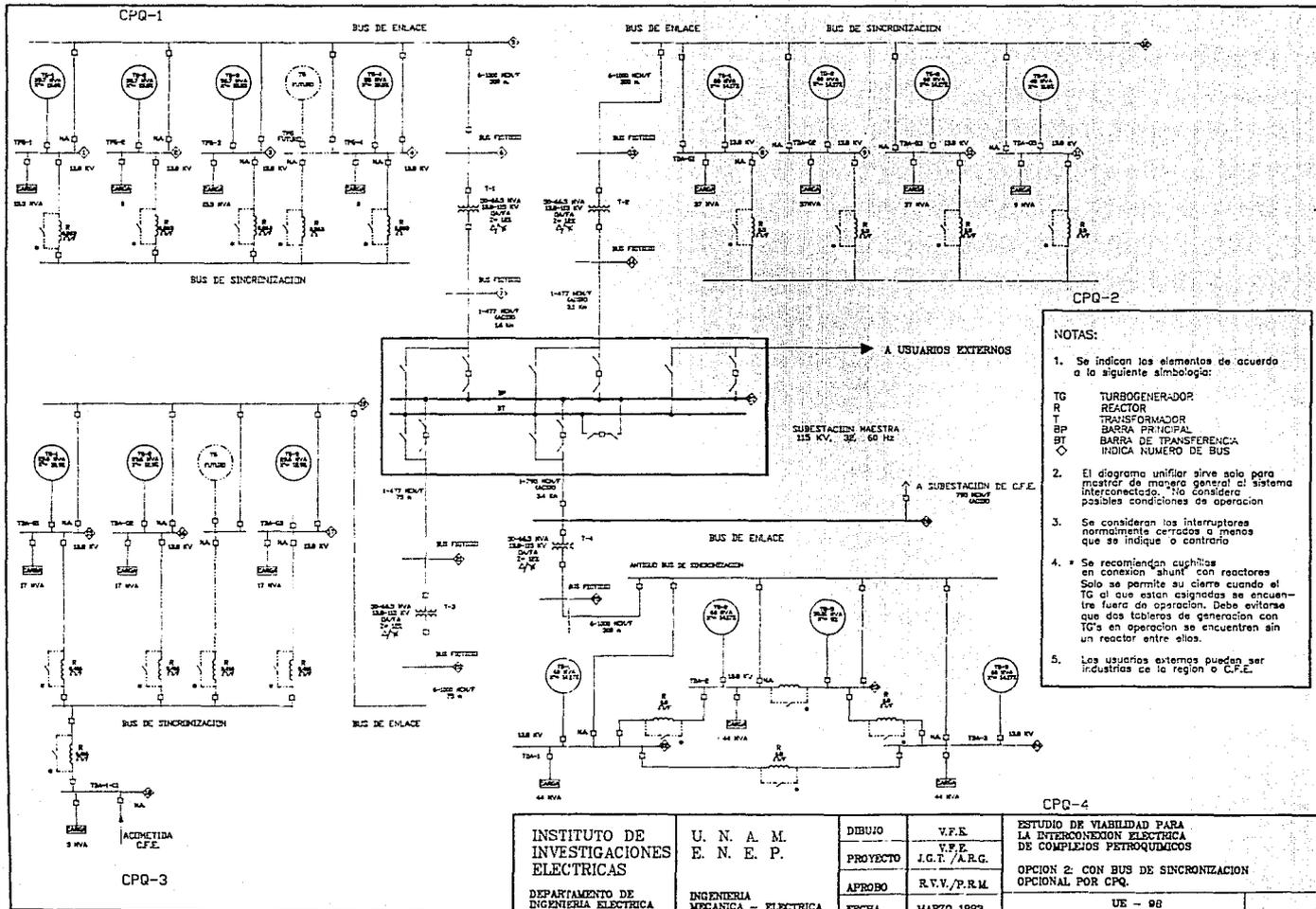
- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:  
 TG TURBOGENERADOR  
 R REACTOR  
 T TRANSFORMADOR  
 BP BARRA PRINCIPAL  
 ST BARRA DE TRANSFERENCIA  
 H.A. INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO  
 ◊ INDICA NUMERO DE BUS
  - El diagrama unifilar sirve solo para mostrar de manera general al sistema interconectado. No considera posibles condiciones de operación.
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique lo contrario.
  - Se recomiendan switches en conexión en serie con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que están asignados se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que dos tableros de generación con TG's en operación se encuentren sin un reactor entre ellos.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICIA	U. N. A. M. E. N. E. P. A R A G O N INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	DIBUJO	Y.F.K.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS <b>UNIFILAR GENERAL</b>	UE-9	CASO 5
		PROYECTO	J.G.T./A.R.G.			
		APROBO	R.V.V./P.R.M.			
		FECHA	MARZO 1963			



- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:
  - El diagrama unifilar sirve solo para mostrar de manera general el sistema interconectado. No considere posibles condiciones de operación
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique lo contrario.
  - Se recomiendan cuádriles en conexión shunt con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que están asignados se encuentre fuera de operación. Debe evitarse que los tableros de generación con TG's en operación se encuentren sin un reactor entre ellos.
  - Los usuarios externos pueden ser industriales de la región o C.F.E.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	U. N. A. M. E. N. E. P. E. N. E. P.	DIBUJO	V. F. E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS  OPCION 1: CON UN TG POR CPQ PARA EL SISTEMA INTERCONECTADO  UE-9A
		PROYECTO	V. F. E. J. G. T. / A. R. G.	
		APROBO	R. V. V. / P. R. M.	
		FECHA	MARZO 1983	



- NOTAS:**
- Se indican los elementos de acuerdo a la siguiente simbología:  
 TG TURBOGENERADOR  
 R REACTOR  
 T TRANSFORMADOR  
 BP BARRA PRINCIPAL  
 BT BARRA DE TRANSFERENCIA  
 ◇ INDICA NUMERO DE BUS
  - El diagrama unifilar sirve solo para maestro de manera general al sistema interconectado. No considera posibles condiciones de operacion
  - Se consideran los interruptores normalmente cerrados a menos que se indique o contrario
  - Se recomiendan cupltitas en conexi3n shunt con reactores. Solo se permite su cierre cuando el TG al que estan asignadas se encuentre fuera de operacion, debe evitarse que dos tableros de generacion con TG's en operacion se encuentren sin un reactor entre ellos.
  - Los usuarios externos pueden ser industrias de la region o C.F.E.

CPQ-4

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS	U. N. A. M. E. N. E. P.	DIBUJO	V.F.E.	ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA	INGENIERIA MECANICA - ELECTRICA	PROYECTO	J.G.T./A.R.G.	
		APROBO	R.V.V./P.R.M.	
		FECHA	MARZO 1993	OPCION 2: CON BUS DE SINCRONIZACION OPCIONAL POR CPQ.
				UE - 98

## CAPÍTULO V

## FLUJOS DE CARGA

El estudio del flujo de carga<sup>9</sup> es importante dentro del trabajo que se va a desarrollar y en general, lo es para cualquier proyecto que se relacione con la generación y transmisión de energía eléctrica.

Antes de explicar el concepto del flujo de potencia, habrá que recordar en forma general los aspectos básicos que influyen en la capacidad para producir y disipar potencia.

Una forma básica de considerar el término "potencia" puede ser la razón de cambio de energía con respecto al tiempo, en términos del voltaje y la corriente.

Existen tres tipos de elementos que pueden afectar el tipo y dirección de la potencia. Estos son resistores, capacitancias e inductancias. Dependiendo del tipo de elemento que conforme la carga tendremos potencia real o reactiva y de la combinación de estas obtendremos la potencia aparente. De esta forma tenemos:

$$S = P + jQ, \text{ Donde:}$$

S - potencia aparente

P - potencia real

Q - potencia reactiva

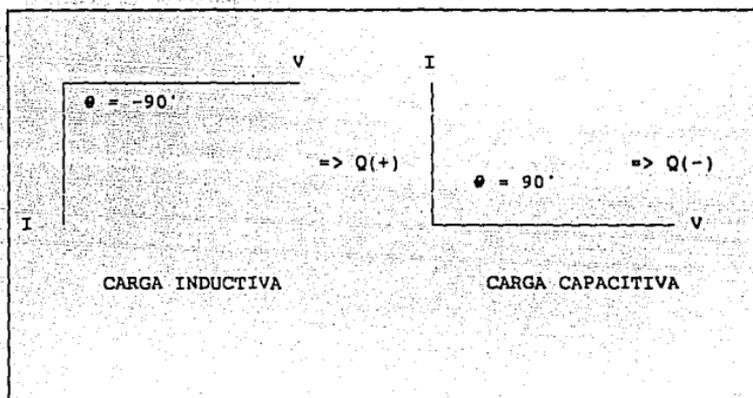
j - indica la presencia de cantidades imaginarias.

La potencia real se manifiesta en las cargas resistivas y la potencia reactiva se presentará en las cargas capacitivas e inductivas. En una carga inductiva, la potencia reactiva es positiva y en una capacitiva es negativa.

El término de positivo o negativo se refiere al ángulo de fase ( $\theta$ ), que existe entre el voltaje y la corriente. Si la corriente se encuentra atrasada con respecto al voltaje, el ángulo  $\theta$  es positivo y viceversa. Lo anterior se representa en la Figura V.1.

---

<sup>9</sup> Los términos flujo de carga y flujo de potencia se utilizan indistintamente en este documento.



#### RELACIONES VOLTAJE-CORRIENTE EN CAPACITANCIAS E INDUCTANCIAS

El coseno del ángulo de fase  $\theta$  existente entre el voltaje y la corriente es el que se conoce como **factor de potencia**. Un circuito inductivo se dice que tiene un factor de potencia en atraso y un circuito capacitivo se dice que tiene un factor de potencia en adelanto. Esto es, que nos indica cuando la corriente adelanta o atrasa al voltaje. Comúnmente, se considera a los capacitores como generadores de potencia reactiva positiva; es decir, que el capacitor se considera un elemento que entrega una corriente en atraso con respecto al voltaje. Lo anterior es de gran relevancia si se considera que una inductancia es una carga que consume potencia reactiva negativa, en otras palabras, la corriente adelanta al voltaje. Haciendo una adecuada combinación de cargas capacitivas e inductivas, puede lograrse que la corriente se mantenga en fase con el voltaje y, de esta forma, evitar el consumo de la energía reactiva, mejorando notablemente nuestras relaciones de potencia.

Si es necesaria una revisión más detallada de lo expuesto, se puede recurrir a la bibliografía que se muestra al final de este documento. A continuación, nos dedicaremos un poco al estudio del flujo de potencia.

Se entiende como flujo de potencia las direcciones que puede seguir la potencia desde las diferentes fuentes hasta las cargas existentes. Estas direcciones se mostrarán

---

en un diagrama unifilar, así como la magnitud del flujo.

Los datos necesarios para poder realizar el estudio del flujo de potencia pueden ser representados en el mismo diagrama unifilar que servirá para mostrar los resultados. El diagrama deberá mostrar los elementos que influirán de manera relevante la dirección de los flujos. Las cargas deberán ser agrupadas cuando se pueda, con el fin de hacer el diagrama lo más representativo y simple que se pueda. La información básica que se debe manejar en los diagramas incluye las impedancias de todos y cada uno de los elementos, los voltajes y potencias nominales de los generadores, transformadores y motores, así como de cada uno de los buses. Si se conoce la impedancia de las líneas, también debe ser incluida. Debe tenerse cuidado en ser congruente en la forma de manejar los valores; es decir, si se encuentran en por unidad o por ciento todos deben manejarse bajo las bases pertinentes.

Las condiciones del flujo de potencia se mantienen en cuanto el sistema permanezca estable; sin embargo, cualquier cambio en las características de alguna de las ramas, afectará el sentido y/o magnitud del flujo. De esta forma, el conectar un motor, encender o apagar luces o cualquier otro tipo de variación en las cargas, modificará la cantidad de energía que se utiliza en la línea donde se encuentra la variación. Aún más, en industrias que cuentan con líneas en paralelo o existen circuitos suplementarios para las diferentes actividades, la utilización de switches o relevadores o circuitos de interconexión se hace indispensable y, esto cambia la configuración de la red. En consecuencia, la distribución de los flujos de potencia cambia. Estos cambios afectan la rentabilidad y eficiencia del sistema, ya que dado que no esté bien planeada la coordinación de la red, podrán observarse sobrecargas en algunos elementos o deficiencias de energía en otros. Esto podría provocar disparos de las unidades de protección y una serie de desajustes en las líneas de distribución.

En la actualidad, la gran capacidad de los modernos sistemas computarizados, a agilizado los tediosos y lentos cálculos matemáticos que forman un estudio de flujos de potencia y, además incluyen la ventaja de poder planear y predeterminar los efectos que pueden tenerse con un incremento en las cargas.

Junto con ello, los programas de computo presentan una gran ayuda gracias a la flexibilidad que tienen de poder acoplarse a los cambios que puedan presentarse en las redes, dando reportes muy completos y, en muchos casos, opciones para solucionar los problemas que se presenten.

Existen básicamente dos metodologías que se siguen para poder crear un sistema computarizado que se encargue del estudio de flujos de potencia.

- a) Utilizar soluciones iterativas por medio del método de Gauss.
- b) Utilizar soluciones iterativas por medio del método de Newton-Rapson.

A continuación se dará una breve exposición de cada uno de ellos:

#### METODO DE GAUSS

Por su sencillez y debido a las características de los sistemas radiales, es uno de los más utilizados. Existen varias versiones, una de ellas puede ser:

- 1 Calcular las corrientes en todos los elementos del sistema, empezando desde las más alejada de la fuente. Se asume un voltaje inicial de 1.0 p.u. en todos los nodos. A partir de la segunda iteración se utilizan los voltajes calculados en la iteración anterior.
- 2 Calcular los voltajes de la red de acuerdo a las corrientes obtenidas en el paso anterior, partiendo de la fuente.
- 3 Calcular la diferencia de pérdidas de la red entre dos iteraciones consecutivas para ver si se cumple el criterio de convergencia. Si no, volver al paso 1.

El sistema de ordenamiento propuesto permite de una manera rápida y sencilla encontrar los caminos ascendentes y descendentes necesarios para el cálculo de las corrientes, voltajes y pérdidas del sistema.

#### METODO DE NEWTON-RAPSON

En este método, los errores de potencia activa y reactiva en los diferentes nodos se relacionan con los incrementos de magnitud y ángulo de los voltajes nodales.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta E/E \end{bmatrix}$$

Donde:

$\Delta P$  y  $\Delta Q$  son vectores de los errores de potencia activa y reactiva respectivamente.

$\Delta \theta$  y  $\Delta E/E$  son incrementos en magnitud y ángulo de los voltajes nodales.

$H, N, J$  y  $L$  son matrices que forman el jacobiano y tienen la misma forma que la matriz de admitancia.

Resolviendo la ecuación anterior, se actualizan los voltajes en magnitud y ángulo. Con ellos se vuelven a calcular los errores de potencia activa y reactiva. Si están dentro de un límite determinado se dice que ha llegado a la solución, sino, se vuelve a resolver la ecuación.

Para la solución del problema particular que se presenta, se utilizará el programa FLUXLV elaborado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

#### V.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA FLUXLV

Este programa fue diseñado para usarse como una herramienta de software para las fases de diseño, verificación y administración de sistemas eléctricos de potencia (generación, transmisión y distribución). Fue escrito en lenguaje Fortran 77 y tiene un dimensionamiento de hasta 300 buses, pero puede ser fácilmente modificado. Para el cálculo de voltajes en los buses y flujos de potencia, el programa utiliza las ecuaciones para la red de admitancias nodales con la solución iterativa de Gauss-Seidel acelerada. Resuelve sistemas eléctricos de tipo radial y mallado. Verifica la consistencia de la red y reporta posibles errores.

El programa tiene como tareas principales el cálculo de:

- 1) Cargas en buses.
- 2) Flujos de potencia.
- 3) Verificación de ampacidad de alimentadores y transformadores.

**4) Cálculo de voltajes antes, durante y después del arranque de motores.**

Los resultados obtenidos por el programa en forma tabular son los siguientes:

- a) Los datos suministrados al programa
- b) Resumen de la carga total por cada bus
- c) La magnitud y el ángulo de voltaje en cada bus
- d) La potencia de generación necesaria del sistema
- e) La potencia de carga real e imaginaria de cada bus
- f) Los flujos de potencia a través de los enlaces
- g) Los ajustes de los taps de los transformadores si se requiere
- h) La magnitud de corriente en alimentadores y el porcentaje de carga de cada transformador.

De los objetivos mencionados anteriormente, nosotros únicamente obtendremos el Cálculo de flujos de potencia.

El programa calcula los flujos de potencia (real y reactiva) para cada línea y transformador, los voltajes (módulo y ángulo) en todos los buses tanto en operación normal, como en arranque de motores. Determina los ajustes de los taps de los transformadores conectados a buses que requieren un determinado valor de voltaje en operación normal.

Para el cálculo de voltajes en los buses y flujos de potencia, el programa utiliza las ecuaciones para la red de admitancias nodales con la solución iterativa de Gauss-Seidel acelerada. El programa acepta datos de impedancias en p.u. de cables, transformadores, elementos en derivación; así como también cargas en operación normal, carga en arranque (en forma desglosada o en forma concentrada por bus), bus de voltaje controlado por generador y cambiador automático de taps en transformadores de dos y tres devanados.

El programa FLUXLV, se cuenta en versión para el sistema VAX existente dentro del IIE, y versión para PC IBM o compatible. Las corridas que se harán para la interconexión son realizadas en PC (Computadora Personal).

## V.2. ARCHIVO DE DATOS PARA FLUJOS

En la tabla siguiente se muestra la información requerida de cargas y generación para cada bus. Estos valores son importantes ya que con ellos se formará el archivo de datos para flujos de carga. Este archivo es diferente al descrito anteriormente para corto circuito. Aunque realizado con los mismos principios de programación sus finalidades son diferentes y por ello se tienen que hacer algunas consideraciones adicionales como se explica más adelante.

BUS No.	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD REAL		CARGA	
	P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q(KVAR)	P (KW)	Q(KVAR)
1	26.96	20.22	18	13.5	12.4	9.3
2	26.96	20.22	18	13.5	0	0
3	26.96	20.22	18	13.5	12.4	9.3
4	26.4	19.8	18	13.5	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	48	36	48	36	29.6	22.2
7	48	36	48	36	29.6	22.2
8	48	36	48	36	29.6	22.2
9	36.235	27.176	26	19.5	7.2	5.4
10	0	0	0	0	0	0
11	23.68	17.76	18	13.5	13.6	10.2
12	23.68	17.76	18	13.5	13.6	10.2
13	23.68	17.76	18	13.5	13.6	10.2
14	0	0	0	0	4.0	3.0
15	0	0	0	0	0	0
16	48	36	48	36	35.2	26.4
17	48 24.25	36 18.18	48 18	36 13.5	35.2	26.4
18	48	36	48	36	35.2	26.4

## NOTAS:

1.- A diferencia del estudio de Corto Circuito, en este se toman los valores de generación reales (condiciones de operación).

2.- En el resto de buses no se tiene carga ni generación.

3.- Los valores de generación reales se tomaron de datos estadísticos de cada uno de los complejos.

El archivo de datos que se utilizó se muestra en el Apéndice A, el cual puede identificarse de la siguiente forma:

1,2	Indicador de unidades (W/A), tipo de estudio (FLUJOS)
28,10000,0	número total de buses, potencia base, buses a analizar (0= todos)
1,2,"TPG-1",13.8,13.8,1.0	Bus No., tipo de bus, nombre de bus, Vb, V bus
...	
...	
...	
0	Número de ramales en derivación
22	Número de líneas
1,5,(0.0002,0.138),(0,0,0,0),0,0	del bus, al bus, impedancia, admitancia (0 indica que la calculo), capacidad (0= no se requiere)
...	
...	
...	
4	Número de transformadores
19,20,(0.0006,0.0167),0,0,1,0,0,0	Entre el bus, y el bus, impedancia, tolerancia (0= incluida ya), tap (1= en su valor nominal), capacidad máx. (0=no se requiere el porcentaje de carga del transformador.
...	
...	
...	

Dentro del programa se manejan 5 tipos de buses. Se considera como bus a cada punto de la red eléctrica en la que deseamos conocer la magnitud de voltaje. Se toman todos los buses indicados en el diagrama unifilar por un número dentro de un rombo.

Los tipos de buses son los siguientes:

- (1) Slack: a este se le denomina también oscilador y es el que compensa el sistema. sirve para ajustar los valores de flujo de los demás buses.
- (2) VCON-CAR: es un bus donde se controla la magnitud de voltaje, el cual puede o no tener carga conectada.
- (3) GEN-CAR: es un bus donde puede existir generación simplemente, tener solo carga o la combinación de las dos. En este bus no se controla el voltaje.
- (4) ARRANQUE: en este, se simula el arranque de alguna carga.
- (5) ENLACE: es un bus que sirve de enlace para ver el voltaje en algún punto, no tiene ni generación ni carga.

### V.3. CASOS DE FLUJOS DE CARGA.

Al igual que en el estudio de corto circuito, se consideran diferentes posibilidades de funcionamiento en el sistema. Para flujos de carga tenemos los siguientes, basándonos en los resultados de corto circuito:

- CASO 1. Se toman las mismas consideraciones que en el caso de estudio 2A de corto circuito. Se estima que ésta será la condición normal de operación por ser la más funcional en cuanto a transmisión de energía entre complejos. La composición de los elementos puede apreciarse en el diagrama unifilar UE-6A, ya que la distribución es exactamente la misma. Se tiene que para este caso, la potencia de generación total real es de 349 MVA y de 426 MVA como potencia nominal de generación.

- CASO 2.** Las condiciones de operación son semejantes al caso anterior, con la excepción de que se considera que el CPQ-1, perdiera completamente su generación local y tuviera que alimentarse del sistema interconectado. Estas condiciones se aprecian en el diagrama unifilar UE-11. Para este caso, la potencia real de generación es de 333 MVA y la potencia nominal es de 359 MVA.
- CASO 3.** En esta ocasión se considera que la generación local se perdió en el CPQ-3, y es este el que se alimenta completamente de la interconexión eléctrica, como puede observarse en el diagrama unifilar UE-12. Se tiene una potencia real total de generación de 333 MVA y 367 MVA como potencia nominal total de generación.

En la Tabla V.1. se pueden observar el resumen de caída de voltaje en los buses y en la Tabla V.2. se presentan los flujos en los enlaces y la corriente que circulará a través de ellos.

BUS No.	TENSION NOMINAL	KV CALCULADOS CASO 1	KV CALCULADOS CASO 2	KV CALCULADOS CASO 3	DIFERENCIA EN %
1	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
2	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
3	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
4	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
5	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
6	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
7	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
8	13.8	13.799	13.799	13.799	0.0072
9	13.8	13.799	13.799	13.799	0.0072
10	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
11	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
12	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
13	13.8	13.799	13.799	13.799	0.0072
14	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
15	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
16	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
17	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
18	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
19	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
20	115	114.999	114.998	114.998	0.0017
21	115	114.999	114.998	114.998	0.0017
22	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
23	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
24	115	114.999	114.998	114.999	0.0017
25	13.8	13.800	13.800	13.800	0.0000
26	115	115.000	115.000	115.000	0.0009
27	115	114.999	114.998	114.999	0.0017
28	115	114.999	114.998	114.999	0.0017

Tabla V.1 RELACION DE VOLTAJES EN LOS BODOS.

## ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS

BUS	A	BUS	MVA	AMPERES
1		5	12.4597	521.29
2		5	0.1396	5.84
3		5	12.4597	521.29
4		5	0.1396	5.84
5		19	24.3557	1,019.00
6		10	11.9174	498.60
7		10	20.8116	870.72
8		10	37.0408	1,549.72
9		10	9.0369	378.09
10		23	25.0152	1,046.59
11		15	14.6110	611.30
12		15	14.6110	611.30
13		15	17.0772	714.48
14		15	5.0805	212.56
15		22	35.6532	1,491.67
16		17	6.4010	267.81
16		25	19.1966	803.15
17		18	6.3985	267.70
18		25	19.1985	803.23
19		20	24.6115	1,029.70
20		28	24.2314	121.66
21		22	38.9357	1,629.00
21		28	38.0495	191.03
23		24	24.5678	1,027.87
24		28	25.8842	129.95
25		26	38.5168	1,611.47
26		27	38.6455	1,616.86
27		28	39.0827	196.22

Tabla V.2 MAXIMOS FLUJOS Y CORRIENTES EN LOS ENLACES.

*En el Apéndice A se encuentran los resultados completos del estudio realizado de flujos de carga, así como también el archivo de datos para el Caso 1, los Casos 2 y 3 tienen un archivo de datos similar, ya que solo cambian algunos datos. Los resultados finales obtenidos del estudio se detallan en el tema final de esta tesis Resultados y Conclusiones.*

**CAPITULO VI**

**DETERMINACION DE LOS ARREGLO TÍPICOS PARA  
LA INTERCONEXION.**

*En los capítulos anteriores, se han desarrollado las bases teóricas y los cálculos que nos han conducido a los RESULTADOS Y CONCLUSIONES que se observan dentro de este documento. En base a ellos, se puede hacer un análisis que sirva como base para realizar la selección del tipo de arreglo para las subestaciones y el equipo que se empleará en ellas.*

*El equipo al que se hace referencia se compone de interruptores, cuchillas desconectadoras, TP's, TC's, transformadores y apartarrayos.*

*La selección de este equipo está basado en especificaciones, normas y estándares.*

**VI.1. CRITERIOS DE SELECCION PARA EL ARREGLO DE LAS SUBESTACIONES.**

*En esta sección se pretende dar una justificación a lo descrito en las BASES DE DISEÑO. En ellas, se especifica el tipo de subestación que se debe emplear para la interconexión eléctrica de los complejos y a continuación se hace un breve análisis con el fin de hacer más claro el por qué de ésta elección.*

*Existen diferentes tipos de arreglos de barras, y su selección depende de varios factores:*

**1) CONTINUIDAD DEL SERVICIO.**

*La continuidad del servicio se refiere a la capacidad del arreglo dentro de la subestación para mantener el suministro de la energía eléctrica con el mínimo de interrupciones y, cuando estas ocurran, se reestablezca el servicio en el menor tiempo posible.*

*Para lograr esto, debemos considerar algunos aspectos importantes que influyen*

en la selección del arreglo de barras para la subestación que se diseña:

- a) Tener capacidad de reserva, tanto en los bancos de transformación como en las barras.
- b) Tener un sistema de protección automático que permita aislar con suficiente rapidez cualquier elemento fallado.
- c) Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento, tenga la menor repercusión sobre el resto de la subestación y la red general.
- d) Contar con fuentes de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
- e) Tener los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones.

2) FLEXIBILIDAD DE OPERACION.

El arreglo de la subestación debe permitir modificar sus condiciones normales de operación en el caso de que exista alguna variación dentro del sistema. Las variaciones pueden ser previstas (ampliaciones, modificaciones o mantenimiento) o factores imprevistos como fallas o condiciones ambientales. Las implicaciones de estos factores deberán afectar en lo menor posible la continuidad del servicio.

3) TIPO DE SUBESTACION.

Existen diferentes tipos de subestaciones, que dependen del tipo de sistema al que pertenecen y a la función que desempeñan dentro del mismo.

Podemos clasificar las subestaciones de acuerdo a lo siguiente:

**RADIAL.**— Se considera una subestación radial cuando existen una o varias fuentes de generación que presentan como único medio de conexión a esta subestación (Ver Figura 3.1 del Capítulo 3 de este documento).

**ANILLO.**— Se dice que una subestación forma parte de un anillo eléctrico cuando esta interconecta dos fuentes de generación que a su vez se interconectan mediante otra u otras subestaciones a otras fuentes, formando esquemáticamente la forma de un anillo (Ver figura 3.2 del capítulo 3 de este documento).

**ENLACE.**— Una subestación es de enlace cuando sirve para interconectar dos o más fuentes de generación con el fin de respaldarse mutuamente, aumentando con esto el grado de confiabilidad, continuidad y flexibilidad del sistema.

**ELEVADORA / REDUCTORA.**— Cuando existen transformadores de potencia dentro de una subestación que modifican el nivel de tensión proporcionado por su alimentador se dice que es elevadora si aumenta el nivel o reductora si es que lo disminuye.

**SWITCHEO.**— Una subestación de este tipo no tiene transformadores de potencia que modifiquen el nivel de tensión de la(s) fuente(s) de alimentación. Este tipo de subestaciones se emplea cuando no se requiere cambiar el nivel de tensión de los circuitos, y están destinadas a efectuar solo operaciones de maniobra<sup>10</sup> (conexión y desconexión).

Una subestación no necesariamente puede ser de un solo tipo de los descritos, sino que en esta pueden combinarse varios tipos en una sola subestación. Una subestación puede ser parte de un sistema en anillo y a la vez tener transformadores de potencia reductores o elevadores, o bien, podemos tener una subestación de switcheo, reductora y estar conectada en forma radial. Si tomamos como ejemplo la Subestación Eléctrica Maestra (S.E.M.) de nuestro estudio, podemos decir que es una subestación de switcheo, tipo radial y elevadora.

#### 4) VOLUMEN DE ENERGIA EN LAS BARRAS.

Se debe considerar también la energía en MVA que se acumula en las barras de una subestación, debido a las capacidades de los elementos conectados a ellas, como son los bancos de transformación o las líneas de alimentación o distribución.

---

<sup>10</sup> De acuerdo con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), de la C.F.E.

5) **ANÁLISIS DE COSTOS.**

*La selección del arreglo que se utilizará dentro de una subestación está influida altamente por el monto de la inversión que se realiza, por tal motivo debe realizarse un correcto Análisis de Costos, con el fin de encontrar la mejor opción al menor costo posible.*

*Considerando los factores que se han mencionado para la selección de un determinado arreglo de barras, podemos hacer la siguiente designación de los utilizados en subestaciones de C.F.E., tomados en orden ascendente en cuanto a costo, continuidad, confiabilidad y flexibilidad.*

- 1) BARRA SIMPLE.
- 2) BARRA SECCIONADA.
- 3) BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE INTERCONEXION.
- 4) BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA.
- 5) BARRA PRINCIPAL Y BARRA AUXILIAR.
- 6) BARRA PRINCIPAL, BARRA AUXILIAR Y BARRA DE TRANSFERENCIA (también llamado "TRIPLE BARRA").
- 7) ANILLO.
- 8) INTERRUPTOR Y MEDIO.
- 9) DOBLE INTERRUPTOR.

**VI.1.1. TENSIONES NORMALIZADAS.**

*Existen valores estándares para las tensiones que se pueden manejar dentro de las subestaciones. Estos valores se fijan de acuerdo a las políticas de cada país y a los criterios empleados por las empresas que se encargan de los sistemas eléctricos.*

*En México se cuenta con normas que involucran tensiones normalizadas para los sistemas de C.A. entre 100 y 1000 V, para sistemas con tensiones mayores de 1000 V y para sistemas de tracción de C.D. y C.A. La Tabla VI.1 muestra los valores de tensiones normalizadas, de interés para nuestro estudio.*

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA kV	TENSION MAXIMA PARA EL EQUIPO kV
4.16	5
13.8	15
23	25
34.5	36.5
69	72.5
115	123
230	245
400	420
*	*

\* Valores mayores bajo consideración.<sup>11</sup>

Tabla VI.1 TENSIONES NORMALIZADAS

VI.1.2. RELACION ARREGLO DE BARRAS - NIVELES DE TENSION.

Para la selección del arreglo de barras, se debe tomar en cuenta los niveles de tensión a los que estará conectada la subestación. De acuerdo a los esquemas tipificados por C.F.E. tenemos la Tabla siguiente:

ARREGLO	NIVELES DE TENSION (kV)						
	13.8	23	34.5	69	115	230	400
BARRA SIMPLE	■	■	■	■	■		
BARRA SECCIONADA	■	■	■		■		
B.P. - B. INTERC.	■	■	■				
B.P. - B.T.				■	■		
B.P. - B.A.					■	■	■
B.P. - B.A. - B.T.					■	■	■

<sup>11</sup> Ver la NOM "Tensiones normalizadas", 1978, página 3.

CAPITULO VI. DETERMINACION DE LOS ARREGLOS TÍPICOS DE LAS SUBESTACIONES PARA LA INTERCONEXION

ANILLO		■				□	
INT. Y MEDIO						□	■
DOBLE INTERRUPTOR							□

- Preferente.
- Tablero tipo " Metal Clad ".
- ♦ S.E. de distribución, con opción futura para Barra Principal y Barra de Transferencia.
- ‡ Redes de crecimiento limitado (ampliaciones).
- En caso de ser la tensión secundaria en subestaciones de 230 kV en el lado primario.
- Ⓜ Para el caso de que la tensión primaria sea 400 kV, con capacidades mayores a 200 MVA, como práctica común.

**Tabla VI.2**  
**ARREGLOS DE BARRAS USADOS EN C.F.E.**  
**SEGUN NIVELES DE TENSION**

**VI.2. JUSTIFICACION PARA LA SELECCION DE LOS ARREGLOS DE BARRAS.**

Tomando en consideración los factores antes mencionados podemos hacer la justificación del arreglo de barras que se seleccionó para la subestación que servirá de enlace para la interconexión de los CPQ's. Si consultamos la Tabla VI.1, vemos que estas tensiones se encuentran dentro de los valores normalizados, y si nos basamos en la Tabla VI.2, podemos observar que el arreglo que se recomienda es el de "BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA" para el nivel de 115 kV y para el CPQ-4, ya que se considera que de este centro de trabajo se tendrá una acometida con CFE.

Para el nivel de 13.8 kV encontramos en la Tabla VI.2 y la normalización de subestaciones tipo distribución de C.F.E. que la recomendación de arreglo en "BARRA SIMPLE" se encuentra dentro de los comúnmente usados y, considerando que estas subestaciones solo serán del tipo ELEVADOR/REDUCTOR, se puede optar por este diseño que es el más sencillo y económico.

**VI.3. DIAGRAMAS UNIFILARES SIMPLIFICADOS PARA LOS ARREGLOS DE BARRAS SELECCIONADOS.****VI.3.1. ARREGLO DE BARRA SIMPLE.**

El arreglo de barra simple es el más económico y sencillo que existe, su aplicación es preferentemente en subestaciones de bajo nivel de tensión (13.8 - 34.5 kV), cuyo objetivo operativo es alimentar servicios radiales de baja carga (ver Figura b.1. del Apéndice B). Se considera la utilización de un interruptor en paralelo, con el fin de poder dar mantenimiento al interruptor principal cuando así se requiera o en el caso de una falla.

Cabe hacer notar que para el arreglo mencionado, donde se usan niveles bajos de tensión, es posible tener una disposición de equipo montado en estructuras, ya que el equipo es relativamente ligero, teniendo un considerable ahorro de espacio. Para todos los arreglos con otros niveles de tensión (69 - 400 kV) es preferible usar disposiciones físicas de equipo a nivel del piso, para facilitar las maniobras de operación y mantenimiento, y ahorrar costo en estructuras mayores requeridas para pesos grandes.

**VI.3.2. ARREGLO DE BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA.**

Este arreglo implica mayor costo, ya que requiere mayor superficie de terreno, más equipo primario, aisladores, herrajes, conductores, tableros de protección y control más sofisticados, etc., pero contamos con mayores ventajas de flexibilidad, confiabilidad, manejo de mayores volúmenes de energía y facilidades operativas para mantenimiento, ya que se cuenta, además de la cuchilla de transferencia, con un interruptor comodín conocido como interruptor de transferencia (ver Figura b.2. del Apéndice B), el cual puede sustituir a cualquier interruptor de línea o banco de transformación.

El empleo del arreglo de barra principal y barra de transferencia es principalmente en subestaciones de 69 y 115 KV.

La secuencia de operaciones necesaria para sustituir un interruptor de línea o banco de transformación por el interruptor de transferencia es la siguiente:

- 1) Se abre el interruptor de línea o banco al cual se va a dar mantenimiento.
- 2) Se abren las dos cuchillas del interruptor de línea o banco.
- 3) Se cierra la cuchilla de transferencia o "bypass" de la línea o banco cuyo interruptor va a ser sustituido.
- 4) Se cierran las dos cuchillas del interruptor comodín.
- 5) Se cierra el interruptor comodín.

Es importante aclarar que en este tipo de arreglo, la posición de los transformadores de corriente sea de tal forma respecto a las cuchillas, de manera que, independientemente de la posición de estas, siempre se tenga señal de corriente para medición y protección.

**VI.4. JUSTIFICACIÓN PARA EL USO DE SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF<sub>6</sub>**

Podemos definir una subestación blindada aislada en SF<sub>6</sub> como un ensamble compacto

de varios elementos contenidos en una envolvente metálica aterrizada, en la cual el medio de aislamiento primario es el hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ )

En subestaciones en  $SF_6$ , las envolventes o carcazas constituyen un medio continuo de conexión a tierra e igualan potenciales al neutro, además de que es posible mantener la subestación en servicio mientras se efectúa mantenimiento en algún módulo de cuchilla o interruptor principal.

Los diagramas unifilares simplificados que representan subestaciones encapsuladas y aisladas en  $SF_6$  (hexafluoruro de azufre) solo difieren de los que representan a subestaciones convencionales en aire en la localización de las cuchillas para conexión a tierra, es decir, la localización de las cuchillas de puesta a tierra en subestaciones en  $SF_6$  se hace siempre en ambos extremos de aquellos módulos que conecten o desconecten partes "vivas" (buses) de la subestación.

Las diferencias de este tipo de subestación con las subestaciones convencionales son las siguientes:

- 1) En las subestaciones en  $SF_6$ , los requerimientos de espacio son menores, tanto en área como en volumen
- 2) En estas subestaciones, todos los elementos se encuentran dentro de una envolvente metálica aterrizada, evitando así cualquier contacto accidental con las partes energizadas.
- 3) Esta proporciona un diseño de mayor resistencia a vibraciones o sismos. Este factor también repercute en un mejor ensamblaje, así como la facilidad y tiempo de montaje.
- 4) La interacción de esta subestación con el medio ambiente que la rodea es menor que en una convencional.
- 5) Una reducción considerable en el nivel de ruido, tanto en bajas como altas frecuencias, durante la operación de dispositivos de maniobra, es una característica de las subestaciones en  $SF_6$ .
- 6) Las subestaciones en  $SF_6$  presentan desventajas en el costo inicial; sin

embargo, en la evaluación deben considerarse otros aspectos, tales como la reducción de dimensiones del terreno, de las estructuras, de la cimentación, etcétera.

#### **VI.5. ESPECIFICACIONES PARA LOS EQUIPOS DE POTENCIA.**

En este tema, se dan la especificaciones principales que se tienen para cada uno de los equipos de potencia que se manejarán dentro de las subestaciones, mismas que han sido obtenidas de normas y estándares de C.F.E

##### **VI.5.1. TRANSFORMADOR DE POTENCIA**

El transformador es el elemento de mayor costo y más importante de una subestación eléctrica, y se define como una maquina eléctrica que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro, con un cambio en la magnitud de la tensión a frecuencia constante. En los transformadores que se emplearán para la Interconexión eléctrica, se han seleccionado con anterioridad la capacidad nominal y el tipo de enfriamiento, como puede verse en las Bases de Diseño; sin embargo, se incluyen los criterios generales de selección que se emplean.

##### **VI.5.1.1. CLASIFICACION.**

Un transformador por su número de fases puede ser monofásico o trifásico y dentro de cualquiera de estos, según el nivel de tensión y la capacidad, se clasifican en:

**TRANSFORMADORES DE POTENCIA:** Los de más de 500 KVA o más de 69 kV.

**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION:** Los que no pasan de 500 KVA y de 69 kV.

Los transformadores de potencia trabajan con grandes volúmenes de energía y parte de esta es transformada en energía calorífica en los devanados del transformador,

para que la elevación de temperatura no afecte el aislamiento de los devanados, se hace necesaria la adición de un sistema de enfriamiento, el cual forma parte del mismo cuerpo del transformador, de esto se tiene una clasificación de los transformadores de acuerdo al tipo de enfriamiento, que es la siguiente:

TIPO "OA": Enfriamiento por aceite y aire (autoenfriados).

TIPO "OAJFA": Autoenfriado y enfriado por aire forzado.

TIPO "OW": Enfriado por agua a través de un serpentín. Circulación natural.

TIPO "FOA": Enfriado por aire y aceite forzados.

TIPO "FOW": Enfriado por agua y aceite forzados.

#### VI.5.1.2. CRITERIOS GENERALES DE SELECCION.

La selección de un determinado tipo y marca de transformador de potencia, debe de cumplir con los requisitos establecidos en las normas CFE K0000-06 y NOM-J-284.

##### CAPACIDAD NOMINAL:

La capacidad nominal de un transformador, son los Kilovoltamperes (kVA) continuos que el devanado secundario del mismo debe suministrar a su tensión y frecuencia nominal.

##### IMPEDANCIA:

La impedancia se expresa generalmente en porcentaje de la tensión de impedancia con respecto a la tensión nominal.

Se recomienda que la impedancia este de acuerdo con la Tabla VI.3., estas impedancias tienen una tolerancia de acuerdo con el inciso 5.3.11 de la norma NOM-J-284.

CAPITULO VI. DETERMINACION DE LOS ARREGLOS TIPICOS DE LAS SUBESTACIONES PARA LA INTERCONEXION

CLASE	NBAT	kV		kZ		
		ALTA TENSION	BAJA TENSION	OA	FA, FOA 1er. PASO	FA, FOA 2o. PASO
15	110	15	1.2-15	4.0 - 7.0	4.0 - 7.5	-
25	150	25	1.2-15	4.0 - 7.0	4.0 - 7.5	-
34.5	200	34.5	1.2-15	4.5 - 7.5	4.5 - 8.0	-
46	250	46	1.2-25	5.0 - 8.0	5.0 - 10.5	-
69	350	69	1.2-34.5	5.0 - 9.0	6.0 - 12.0	7.0 - 15.0
92	450	92	15.0-34.5	5.0 - 9.0	7.0 - 12.0	8.0 - 15.0
115	550	115	15.0-34.5	6.0 - 9.5	7.0 - 14.0	8.0 - 16.0
138	650	138	15.0-34.5	6.0 - 10.0	7.0 - 14.0	8.0 - 16.0
161	750	161	15.0-69.0	6.0 - 10.0	8.0 - 15.0	9.0 - 17.0
196	900	196-230	15.0-69.0	7.0 - 11.0	9.0 - 15.0	10.0 - 18.0
230	1050	230	15.0-69.0	7.0 - 12.0	9.0 - 16.0	10.0 - 19.0
315	1425	315-400	15.0-25.0	8.0 - 12.0	10.0 - 16.0	10.0 - 20.0
315	1425	315-400	34.5-161	9.0 - 13.0	10.0 - 17.0	10.0 - 21.0

Tabla VI.3. IMPEDANCIA REFERIDA A 60 Hz.<sup>12</sup>

**TEMPERATURA AMBIENTE:**

Los transformadores de potencia deben ser apropiados para operar a su capacidad nominal, siempre que la temperatura del ambiente no exceda de 40 °C y la temperatura promedio del ambiente durante cualquier período de 24 Hrs. no excede de 30 °C.

**ALTURA DE OPERACION:**

Los transformadores se deben diseñar para operar a una altitud de 1000 m.s.n.m. en caso de que la altura de operación sea mayor (CFE K0000-06), se deberán aplicar los factores de corrección indicados en la Tabla 1 de la norma ANSI C57-12.00 1980, de tal manera que los transformadores mantengan a la altitud indicada sus capacidades nominales y niveles de aislamiento.

**NUMERO DE FASES DEL TRANSFORMADOR:**

Se debe de tomar la decisión de elegir entre tener un banco de transformación que cuente con un transformador trifásico o tener un banco formado por 3 transformadores monofásicos, con la posibilidad de adicionar uno más de reserva. Esta decisión depende de

<sup>12</sup> Ver Tabla 12 de la MW-J-284

factores como el espacio, costo y el volumen del transformador para el transporte de la fabrica a la subestación.

Algunas de las ventajas de usar transformadores trifásicos son que estos involucran menos superficie ocupada, cimentaciones, estructuras y barras colectoras. Que si se contara con un banco de transformadores monofásicos. Los transformadores trifásicos tienen un cambiador automático de derivaciones bajo carga en el lado de baja tensión controlado por un sistema de regulación de voltaje que mantiene el voltaje adecuado en función de la carga conectada.

La desventaja de usar transformadores trifásicos es que si solo se cuenta con una unidad, y este sale de operación por falla o por mantenimiento, se suspende el servicio. Por lo que tiene mayor flexibilidad el utilizar cuatro transformadores monofásicos, tres en operación y uno de reserva por si alguno sale de operación.

#### VI.5.2. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO.

Los transformadores de instrumento son dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para la protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico.

Para lo anterior se dispone de:

- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (T.C.s).
- TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (T.P.s).

El primario del transformador de corriente se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y protección.

En los transformadores de potencial, el primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión

de los diferentes aparatos de medición y protección.

#### VI.5.2.1. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente defasada de ésta a un ángulo cercano a cero.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos. Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comportan como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección.

##### VI.5.2.1.a. CLASIFICACION.

###### 1) POR SU APLICACION :

###### Transformadores de Medición :

Requieren reproducir fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente, hasta un exceso de corriente del orden del 20%, sobre el valor nominal.

###### Transformadores de Protección :

Requieren conservar su fidelidad hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente nominal.

###### 2) POR SU CONSTRUCCION :

Los transformadores de corriente se clasifican de acuerdo a las características de su devanado primario, tal como se indica a continuación:

- a) *Tipo devanado.*  
*Es aquel en el cual el las espiras del devanado primario rodean a uno o mas núcleos; los devanados primarios se encuentran aislados de los devanados secundarios, así como del o los núcleos y se ensambian como una estructura integral. Este tipo de transformadores se fabrican con devanados secundarios de relación doble o triple.*
- b) *Tipo barra.*  
*El primario está formado por un solo conductor en forma de varilla, tubo o barra, el cual pasa a través de la ventana del núcleo; los devanados secundarios se encuentran aislados entre sí y están sujetos permanentemente al circuito magnético. Se encuentran disponibles con devanados secundarios de relación simple.*
- c) *Tipo ventana.*  
*Su construcción permite hacer pasar uno o más conductores a través de la ventana aislada que forma el núcleo, es decir, carece de devanado primario como parte integral del transformador. El devanado secundario está aislado y permanentemente ensamblado al núcleo.*
- d) *Tipo boquilla.*  
*Carece de devanado primario y de aislamiento para este; usualmente el devanado primario lo constituye un conductor aislado que forma parte de algún equipo. El devanado secundario está aislado y permanente ensamblado a un núcleo toroidal.*

#### NUMERO DE DEVANADOS

*Los devanados primarios podrán ser de relación simple o doble relación para la capacidad de corriente nominal que se requiera en cada caso específico.*

*Los devanados de baja tensión serán siempre tres (dos para protección y uno para medición), con capacidad nominal de corriente para 5 amperes.*

#### VI.5.2.1.b. CRITERIOS DE SELECCION.

*El transformador de corriente seleccionado deberá de cumplir con lo indicado en la norma NOM-J-109.*

**CORRIENTES NOMINALES Y RELACIONES DE TRANSFORMACION :**

Las corrientes nominales tanto del primario como del secundario y relaciones de transformación normalizadas son la indicadas en la Tabla VI.4.

RELACION SIMPLE		RELACION DOBLE	RELACIONES MULTIPLES(2)
5:5	500:5	5 x 10:5	600/500/450/400/300/250/
10:5	600:5	10 x 20:5	200/150/100/50 Amp.
15:5	800:5	15 x 30:5	
20:5	1000:5	25 x 50:5	1200/1000/900/800/600/
25:5	1200:5	50 x 100:5	500/400/300/200/100 Amp.
30:5	1500:5	75 x 150:5	
40:5	1600:5	100 x 200:5	2000/1600/1500/1200/1100
50:5	2000:5	150 x 300:5	/800/500/400/300 Amp.
75:5	2500:5	200 x 400:5	
100:5	3000:5	300 x 600:5	3000/2000/1500 Amp.
150:5	3500:5	400 x 800:5	
200:5	4000:5(1)	500 x 1000:5	4000/3000/2000 Amp.
250:5	6000:5(1)	600 x 1200:5	
300:5	8000:5(1)	1000 x 2000:5	5000/4000/3000 Amp.
400:5	12000:5(1)	2000 x 4000:5	

Notas;

(1) Consultar disponibilidad con el fabricante

(2) Para Transformadores tipo Boquilla

Tabla. VI.4. CORRIENTES Y RELACIONES DE TRANSFORMACION NOMINALES.<sup>13</sup>

**CARGA NOMINAL :**

Es el valor de la impedancia en ohms reflejada en el secundario, y que esta constituida por la suma de las impedancias del conjunto de todos los medidores, relevadores, cables y conexiones conectados en serie con el secundario.

<sup>13</sup> Ver "guías de diseño de subestaciones", IIE, capítulo VII

Las cargas normalizadas se designan con la letra "B" seguida del valor total de la impedancia; Tabla VI.5.

DESIGNACION DE LA CARGA	CARACTERISTICAS		CARACT. PARA 60 Hz, 1sec. = 5A		
	RESISTENCIA (ohm)	INDUCTANCIA EN millihenrys	IMPEDANCIA (ohm)	VA	FACTOR DE POTENCIA
B0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
B1.0	0.50	2.3	1.0	25	0.5
B2.0	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Tabla VI.5. CARGAS NORMALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.<sup>14</sup>

#### POTENCIA NOMINAL :

Es la potencia aparente secundaria que a veces se expresa en Volt-Amperes (VA) y a veces en ohms, bajo una corriente nominal determinada. Para escoger la potencia nominal de un T.C., se suman las potencias de las bobinas de todos los aparatos conectados en serie con el devanado secundario, más las pérdidas por efecto Joule que se produce en los cables de alimentación, y se selecciona el valor nominal inmediato superior; Tabla VI.5.

#### CLASE DE PRECISION PARA MEDICION :

La clase de precisión se designa por el error máximo admisible, en por ciento, que el T.C. puede introducir en la medición, operando con su corriente nominal primaria y frecuencia nominal.

Las clases de precisión normales son: 0.3, 0.5 y 1.2 (inciso 5.3.11; norma NOM-J-109).

<sup>14</sup> Ver NOM-J-109, Tabla 2, página 4.

Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con una o varias cargas nominales de precisión; por ejemplo 0.6 B2.0 (ver Tabla VI.5.).

**CLASES DE PRECISION PARA PROTECCION :**

Los transformadores con núcleos para protección, se diseñan para que la corriente secundaria sea proporcional a la primaria, para corrientes con valores de hasta 20 veces el valor de la corriente nominal (Norma NDM-J-109, Inciso 5.4.1).

CLASIFICACION DE LA PRECISION PARA PROTECCION		TENSION SECUNDARIA EN VOLTS	CARGA NORMALIZADA
C	T		
C 10	T 10	10	B0.1
C 20	T 20	20	B0.2
C 50	T 50	50	B0.5
C 100	T 100	100	B1.0
C 200	T 200	200	B2.0
C 400	T 400	400	B4.0
C 800	T 800	800	B8.0

Tabla VI.6. CLASES DE PRECISION DE T.C.'s PARA PROTECCION.<sup>15</sup>

**CAPACIDAD DE RESISTENCIA DE LOS T.C.'s A LOS CORTOS CIRCUITOS :**

Esta resistencia esta determinada por las corrientes de limite térmico y dinámico.

**CORRIENTE DE LIMITE TERMICO :**

Los T.C.'s deben ser capaces de soportar durante un segundo el valor eficaz correspondiente a 80 veces la corriente nominal primaria, con su secundario en cortocircuito.

<sup>15</sup> Ver NDM-J-109-1977, Tabla 5, página 12.

**CORRIENTE DE LIMITE DINAMICO :**

Es el valor de pico de la primera amplitud de corriente que un transformador puede soportar por efecto mecánico sin sufrir deterioro, con su circuito secundario en cortocircuito.

En la práctica el cálculo se efectúa siguiendo las dos fórmulas:

$$I_T = \frac{MV_{Acc}}{1.3 \cdot KV}$$

$$I_D = 1.8 \cdot I_T = 2.54 \cdot I_T$$

Donde:

$I_T$  = Valor efectivo de la corriente de límite térmico.

$I_D$  = Valor de pico de la corriente dinámica.

$MV_{Acc}$  = Potencia de corto circuito en MVA.

$KV$  = Tensión nominal del sistema en kV.

**CONEXIONES TÍPICAS**

- a) **CONEXION ESTRELLA.**— Los transformadores de corriente dependiendo de su aplicación, se pueden conectar en delta o en estrella. Esta última se utiliza con mayor frecuencia en sistemas eléctricos. Conviene hacer notar que con la conexión estrella se reproducen tanto la componente de secuencia positiva, como la de secuencia negativa y cero.
- b) **CONEXION DELTA.**— Mediante el uso de las componentes simétricas se puede demostrar que aún cuando los transformadores de corriente reproducen las componentes de secuencia positiva, negativa y cero, la señal que sale de la conexión delta carece de la componente de secuencia cero; esto es, que dicha componente circula únicamente dentro de la conexión delta, por lo que este tipo de conexión se aplica

cuando se requiere un filtro para la componente de secuencia cero, como en el caso de la protección diferencial de un transformador de potencia de conexión delta-estrella.

#### VI.5.2.2. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.

Se define como transformador de voltaje al transformador diseñado para suministrar una tensión adecuada a instrumentos de medición y protección. Bajo condiciones normales de operación, la tensión suministrada (secundaria) es proporcional a una tensión primaria, de la cual está defasada un ángulo cercano a cero.

Los transformadores de potencial van conectados ya sea entre fases, o bien, entre fase y tierra; (Inciso 6.4 CFE-VE000-14 e Inciso 6.3 CFE-VE000-29).

#### VI.5.2.2.a. CLASIFICACIÓN.

Existen dos tipos de transformadores de potencial, que son:

- Transformadores de Potencial Inductivos (T.P.s).
- Transformadores de Potencial capacitivos, también llamados Dispositivos de Potencial (D.P.s).

Los T.P.s se construyen en base a devanados primarios y secundarios en un circuito magnético, cuyo devanado primario se puede conectar a un sistema eléctrico tanto entre fases como entre fase y tierra.

Los D.P.s están formados por un divisor de tensión a base de capacitores y una unidad electromagnética. Únicamente se pueden conectar entre fase y tierra. Los D.P.s cuentan con una preparación opcional para la onda portadora (CARRIER).

**VI.5.2.2.b. CRITERIOS DE SELECCION.**

Los transformadores de potencial deben cumplir con lo establecido en las normas: NOM-J-168, CFE-VE000-14 y CFE-VE000-29.

**TENSION PRIMARIA :**

Se debe seleccionar el valor normalizado inmediato superior al valor calculado de la tensión nominal de la instalación; Tabla VI.7.

**TENSION SECUNDARIA :**

Los valores normalizados son de 120 Volts para aparatos de hasta 25 kV y de 115 Volts para aquellos con valores superiores a 34.5 kV.

**POTENCIA NOMINAL :**

Es la potencia secundaria expresada en Volt-Amperes, que se desarrolla bajo la tensión nominal. Para escoger la potencia nominal, se suman las potencias que consumen las bobinas de todos los aparatos y las caídas de tensión de los cables conectados en paralelo al devanado secundario; y se selecciona el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida; Tabla VI.8.

**CLASES DE PRECISION :**

La clase de precisión se designa por el máximo error admisible expresado en por ciento, que el T.P. puede introducir en la medición en condiciones normales de operación. Las clases de precisión nominales son: 0.3, 0.6, y 1.2

CAPÍTULO VI. DETERMINACION DE LOS ARREGLOS TÍPICOS DE LAS SUBESTACIONES PARA LA INTERCONEXION

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA (KV)	CLASE NOMINAL DE AISLAMIENTO (KV)	TENSION NOMINAL DE FASE A TIERRA (V)	RELACION DE TRANSFORMACION	VALORES DE PRUEBA (KV)		CONEXION DEL PRIMARIO
				N.B.A. AL IMPULSO ONDA COMPLETA VALOR PICO	POTENCIAL INDUCIDO VALOR EFICAZ, 60 Hz	
6.9	7.28	4200	35:1	75	8.4	FASE A TIERRA
13.8	15	8320	120:1	110	28.8	DELTA ABIERTA
23	25	13856	100:1	150	28.8	FASE A TIERRA
23	25	13856	120:1	150	28.8	FASE A TIERRA
23	25	--	200:1	150	48	DELTA ABIERTA
34.5	38	19920	175:1	200	70	FASE A TIERRA
69	72.5	40250	350:1	350	140	FASE A TIERRA
85	115	49074	400:1	550	230	FASE A TIERRA
115	123	69000	800/1000:1	550	230	Y CON NEUTRO A TIERRA
230	245	138000	1200/2000:1	1050	480	Y CON NEUTRO A TIERRA
400	420	241500	2100/3500:1	1550	690	

Tabla VI.7. TENSIONES NOMINALES Y VALORES DE PRUEBAS DIELECTRICAS.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Ver las Normas CFE-VE-00014 y CFE-VE-00029

CARGA NOMINAL DE PRECISION (VA)	DESIGNACION EQUIVALENTE.	FACTOR DE POTENCIA	CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS DE PRECISION					
			120 VOLTS			69.3 VOLTS		
			RESISTENCIA OHMS	REACTANCIA OHMS	CORRIENTE AMPERES	RESISTENCIA OHMS	REACTANCIA OHMS	CORRIENTE AMPERES
12.5	W	0.1	115.2	1146.2	0.104	38.4	38.2	0.18
25.0	X	0.7	403.2	411.26	0.208	134.4	137.08	0.38
75.0	Y	0.85	163.2	100.99	0.625	54.4	33.66	1.082
200.0	Z	0.85	61.2	37.87	1.67	20.4	12.62	2.888
400.0	ZZ	0.85	30.6	18.94	3.33	10.2	6.31	5.762

Tabla VI.8. CARGAS NOMINALES DE PRECISION USUALES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CON TENSION SECUNDARIA NOMINAL DE 120 Y 69.3 VOLTS.

### VI.5.3. INTERRUPTORES.

*El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga y su función principal es interrumpir la corriente, bajo condiciones de cortocircuito.*

*Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad, que se puede tener en un sistema eléctrico.*

*El interruptor se considera formado por tres partes principales:*

#### PARTE ACTIVA:

*Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación que soporta los contactos móviles.*

<sup>17</sup> Ver la MW-J-168-1980.

**PARTE PASIVA:**

*Formada por una estructura que soporta la parte activa.*

**ACCESORIOS:**

*En esta parte se consideran incluidas las siguientes partes:*

- *Boquillas terminales que a veces incluyen transformadores de corriente.*
- *Válvulas de llenado, descarga y muestreo del fluido aislante.*
- *Conectores a tierra.*
- *Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección y medición.*

**VI.5.3.1. CLASIFICACION.**

*De acuerdo con los elementos que intervienen en la apertura; las cámaras de extinción del arco, los interruptores se pueden dividir en los siguientes grupos ordenados conforme a su aparición histórica:*

1. **GRAN VOLUMEN DE ACEITE.**
2. **PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE.**
3. **NEUMATICOS ( AIRE COMPRIMIDO ).**
4. **HEXAFLORURO DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>).**
5. **VACIO.**

En cuanto al mecanismo de operación de los interruptores, pueden ser de tipo:

- NEUMATICO.
- HIDRAULICO.
- RESORTE.

La C.F.E. limita el uso de interruptores a solo del tipo con extinción de arco eléctrico por medio de gas SF<sub>6</sub> (Hexafluoruro de Azufre), y sólo en casos especiales como ampliaciones, sustituciones, etc. en que se requiera, se utilizará otro medio de extinción.

#### VI.5.3.2. CRITERIOS DE SELECCION:

Los interruptores deben de cumplir con lo establecido en las especificaciones CFE-V5000-01 y CFE-V5000-15.

#### VALORES NOMINALES DE VOLTAJE, FRECUENCIA Y CORRIENTE.

- a) La corriente nominal de los interruptores deben estar de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3.10. Esta corriente está dada por el valor eficaz (r.m.s) de la corriente, que es capaz de conducir continuamente el interruptor sin sufrir ningún daño a la frecuencia nominal y sin exceder los valores de elevación de temperatura de diferentes partes del interruptor, indicados en la Tabla IV de la Norma IEC 56-2.
- b) Las tensiones nominales de los interruptores deben estar basadas de acuerdo a la Tabla VI.9.
- c) Los interruptores se deben diseñar para operar a 60 Hz.

TENSION NOMINAL VALOR EFICAZ (kV)	
SISTEMA	INTERRUPTOR
13.8	15.5
23.0	25.8
34.5	38.0
69.0	72.5
115	123
230	245
400	420

Tabla VI.9 TENSIONES NOMINALES.<sup>18</sup>

**CONDICIONES NORMALES DE SERVICIO.**

- a) Los interruptores deben estar diseñados para sistemas conectados sólidamente a tierra.
- b) Los interruptores deben operar a una temperatura ambiente que no exceda de 40 °C y un valor promedio medido en un período de 24 horas de 35 °C. También deben estar diseñados para operar a una temperatura mínima de -25 °C.
- c) Se deben diseñar para operar a una altura de 1000 m.s.n.m. En caso en que las necesidades de operación requiera una altura mayor, deben hacerse las correcciones indicadas en la Norma IEC 56.4, de manera que el interruptor mantenga a la altitud en que se encuentre instalado los niveles de aislamiento establecidos en esta guía.

<sup>18</sup> Ver normas CFE-V5000-15 y CFE-V5000-01.

**CAPACIDAD INTERRUPTIVA**

- a) Los interruptores deben cumplir con la corriente interruptiva de corto circuito dada por el valor eficaz (r.m.s) de su componente de CA asociada con una componente de CD, como lo establece el capítulo 6 de la Norma IEC 56-2, y debe estar de acuerdo con la Tabla VI.10.
- b) La corriente sostenida de corta duración (3 segundos) debe ser la indicada en la Tabla VI.10. Esta corriente es la que el interruptor es capaz de conducir en posición cerrada y con un valor igual al de la corriente interruptiva de corto circuito, de acuerdo con la Norma IEC 56-2 capítulo 10.

TENSION NOMINAL DEL INTERRUPTOR ( $V_n$ ) valor eficaz kV	CORRIENTE NOMINAL a 60 Hz A	CORRIENTE INTERRUPTIVA DE CORTO CIRCUITO, valor eficaz a $V_n$ KA	TIEMPO MAXIMO DE INTERRUPCION (Base 60 Hz) Ciclos (msog)
15.5	1250	18.0 35.0 56.0	(60)
25.6	1250	11.0	(60)
38.0	1250	22.0 36.0	(60)
72.5	1250	19.0	(60)
123	1250 1600 2000	25 - 31.5	3(50)
245	1250 1600 2000 2500 3150	31.5 - 40	3(50)
420	1600 2000 2500 3150	31.5 - 40	3(50)

Tabla VI.10 CORRIENTE NOMINAL Y CAPACIDADES INTERRUPTIVAS.<sup>19</sup><sup>19</sup> Ver normas CFE-V5000-15 y CFE-V5000-01.

### RECIERRE AUTOMÁTICO.

*El recierre automático de los interruptores tiene como fin mejorar la continuidad del servicio de la instalación. Pero se debe de tomar en cuenta que la construcción del interruptor debe ser más robusta ya que tiene que resistir el recierre con la corriente de cortocircuito, cuando persista la falla.*

*Las fallas en una red pueden ser de tres tipos:*

1. TRANSITORIAS.
2. SEMIPERMANENTES.
3. PERMANENTES.

*En los dos primeros casos se puede restaurar el servicio una vez que ha cesado la falla.*

*En el tercer caso sólo se puede restaurar el servicio, después de una reparación de la zona dañada.*

*En alta tensión se ha detectado estadísticamente, que el porcentaje de fallas de línea a tierra son del orden del 90% y considerando, además, que la mayoría de las fallas son de tipo transitorias y semipermanentes, se puede pensar en la utilización del Recierre Monofásico. Como el recierre es rápido, no existe el temor de que llegue a perder el sincronismo, ya que las otras dos fases siguen manteniendo una lga sincronizada y sólo en el caso en que después del primer recierre persista el cortocircuito, entonces se efectuara el disparo trifásico.*

#### VI.5.4. CUCHILLAS DESCONECTADORAS

*Las cuchillas desconectadoras son dispositivos que se utilizan para conectar y desconectar parte de una instalación eléctrica. Y por lo general su operación debe ser sin corriente, ya que su capacidad interruptiva es casi nula.*

Las cuchillas están formadas por una base metálica de lámina de acero galvanizado, columnas de aisladores de porcelana y encima de éstas, la cuchilla que se fabrica de cobre o aluminio. La cuchilla está formada por una navaja o parte móvil, y por una parte fija, que es la mordaza formada por varios dedos metálicos, los cuales deben de presionar lo más que se pueda a la navaja, para disminuir pérdidas por falsos contactos.

Las cuchillas se pueden operar en forma individual o en grupo. Las primeras, también conocidas como cuchillas unipolares, son aplicadas cuando la tensión de operación es menor a 20 kV su apertura y cierre es por medio de pértigas o garrochas de madera, de aquí que también se les da el nombre de cuchillas tipo pértiga. Las de operación en grupo o llamadas cuchillas tripolares son aplicadas en tensiones superiores a 20 kV y su operación se debe a un mecanismo de barras que acciona las tres fases simultáneamente, esta puede ser en forma manual, hasta tensiones de 115 kV, o bien accionadas por un motor, en forma hidráulica o bien en forma neumática.

#### VI.5.4.1. CRITERIOS GENERALES DE SELECCION :

El principal parámetro que se toma en cuenta para la selección de un tipo de cuchillas, es el espacio que ocupará ésta dentro de la subestación y por consiguiente el que abarcará toda la subestación y que en un momento dado sea de menor costo el emplear menos espacio.

Además de esto, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios de selección:

- Garantizar un aislamiento dieléctrico a tierra y sobre todo en la apertura. Además deben cumplir con los valores de pruebas dieléctricas indicados en la Tabla VI.11.
- Conducir en forma continua la corriente nominal (Tabla VI.12.), sin que exista un aumento de temperatura en sus componentes.
- Debe soportar un tiempo especificado (generalmente 1 seg.) los efectos térmicos y dinámicos de las corrientes de corto circuito. Así como las corrientes de prueba (Tabla VI.12.).
- Las maniobras de cierre y apertura se deben de realizar sin posibilidad de falsos contactos aun en condiciones atmosféricas desfavorables (presencia de hielo, arena, etc).

TENSION NOMINAL Valor eficaz		TENSIONES DE PRUEBA			
SISTEMA COMISION [kV]	CUCHILLA DES- CONECTADORA [kV]	AL IMPULSO (ONDA 1.2/50 mi- croseg. POLARIDAD POSITIVA Y NEGATIVA). kV CRESTA.		POTENCIAL APLICADO VALOR EFICAZ A 60 Hz 1 min. [kV]	
		A TIERRA Y ENTRE POLOS	ENTRE TERMINA- LES CON CUCHI- LLA ABIERTA	A TIERRA Y ENTRE POLOS	ENTRE TERMINA- LES CON CUCHI- LLA ABIERTA
13.8	15.5	110	125	50	55
23.8	25.8	150	165	70	77
34.5	38	200	220	95	105
69	72.5	350	385	175	195
115	123	550	630	230	265
230	245	1050	1200	460	530
400*	420	1425	1425 (+240)	520	610

\* Para cuchillas de 400 kV los datos se tomaron de la norma CEI-694, Tabla 4.

Tabla VI.11. TENSIONES NOMINALES Y VALORES DE PRUEBAS DIELECTRICAS.

TENSION NOMINAL DE LA CUCHILLA DESCONECTADORA (Vn)(VALOR EFICAZ) [kV]	(1)CORRIENTE NOMINAL A 60 Hz [A]	(2)CORRIENTE APLICADA DE CORTA DURACION 3segundos (VALOR EFICAZ) [kA]
15.5	630	25
	1250	38.1
	2000	43.8
25.8	630	25
	1250	38.1
38	630	25
	1250	38.1
72.5	630	25
123	1250	25 - 31.5
	1600	
	2000	

245	1250	31.5 - 40
	1600	
	2000	
	3150	
420	1600	31.5 - 40
	2000	
	3150	

- (1) La corriente nominal es la que deben de conducir continuamente las cuchillas, sin sufrir deterioro y sin exceder los valores de elevación de temperatura de las diferentes partes de la cuchilla. (CFE V4200-12 y CFE V4200-25) Indicados en la Tabla V de la Norma IEC-129.
- (2) La cuchilla debe ser capaz de conducir en posición cerrada sin sufrir daños, ni deformaciones permanentes, ni separación de contactos, la corriente sostenida durante un período de 3 segundos, y su comportamiento debe estar de acuerdo con lo indicado en el inciso 24 de la Norma IEC-129.

Además la cuchilla debe ser capaz de conducir en posición cerrada sin sufrir daños, una corriente cuyo valor cresta debe ser igual a 2.5 veces la corriente de corta duración de 3 segundos.

Tabla VI.12 CORRIENTE NOMINAL Y CORRIENTE DE PRUEBA.

#### VI.5.5. APARTARRAYOS.

Son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo del sistema.

Un apartarrayos se comporta como un aislador mientras la tensión aplicada no excede de cierto valor predeterminado, se convierte en conductor al alcanzar la tensión ese valor y conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

Una vez desaparecida la sobretensión y restablecida la tensión normal, el apartarrayos interrumpe la corriente.

#### VI.5.5.1. CLASIFICACION.

Los apartarrayos se clasifican en los siguientes tipos:

- ESTACION (Para instalaciones en subestaciones).
- INTERMEDIOS (Para instalaciones en puntos de transición de acometida aero-subterráneas).
- DISTRIBUCION.
- SECUNDARIOS.

En cuanto a su construcción, existen dos tipos de apartarrayos:

- APARTARRAYOS AUTOVALVULARES.
- APARTARRAYOS DE OXIDOS METALICOS.

#### VI.5.5.2. CRITERIOS DE SELECCION.

Los apartarrayos seleccionados deben de cumplir con lo indicado en las normas NOM-J-321, CFE-VA000-37 y CFE-VA000-17.

Los apartarrayos son, por una parte, equipos de protección para limitar los efectos de los rayos y sobrevoltajes por "switcheo" en redes y por otro, medios para coordinar los aisladores. Cuando se seleccionan los apartarrayos para un trabajo determinado, el siguiente criterio de selección puede adecuarse relativamente a uno u otro:

- La capacidad de absorción de energía.
- El nivel de protección.
- Aspectos económicos.

**Selección del rango.**

El grado de la capacidad de absorción de energía en un apartarrayos va desde el nivel mínimo posible de falla, hasta el más alto posible de protección a la red, aún en caso de un serio percance.

**Determinación de la capacidad de absorción de energía necesaria.**

Esta se determina por los siguientes aspectos:

- La experiencia en la operación y datos estadísticos de la red.
- Datos estadísticos de tormentas eléctricas y la actividad de los rayos en el área.
- Los parámetros estadísticos determinados para la intensidad de los rayos.
- Datos de las descargas de línea.

Partes de redes con capacidad para almacenar grandes cantidades de energía en sobre voltajes, como son bancos de capacitores o cables largos de alto voltaje, se requiere utilizar apartarrayos muy potentes. Es recomendable consultar al fabricante para hacer la selección.

La localización de los apartarrayos deberá ser lo más cerca posible al equipo a proteger; se recomienda no instalarlos en el tanque del transformador, debido a que al explotar los apartarrayos se provocaría un incendio.

**VI.5.5.3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC.**

Los apartarrayos tipo estación de óxido de zinc se utilizan en sistemas de 115 a 400 kV y deben cumplir con las siguientes características:

Ser diseñados para servicio intemperie.

Deberán operar a una frecuencia de 60 Hz.

Deberán ser tipo estación.

El nivel de protección al frente de onda corresponde a la tensión de descarga (kV cresta) [Ver Tabla VI.13], para una onda de impulso de corriente de 10 kA cuyo valor de cresta se alcanza en un tiempo de 0.5 microsegundos.

La característica de protección queda definida por el nivel de protección correspondiente al valor de la tensión de descarga al aplicar una onda de corriente de impulso (de  $8 \times 20$  microsegundos) de 5, 10 y 40 kA.

La capacidad de tensión máxima continua es la tensión máxima que soporta el apartarrayos en forma continua.

Deben cumplir con una tensión máxima de descarga correspondientes a las corrientes de impulso de  $8 \times 20$  microsegundos de 3, 10, 15, 20 y 40 kA.

Deben de ser capaces de soportar sin daño una corriente de impulso de (4 a 8)  $\times$  (10 a 20) microsegundos, con un valor de 100 kA y dos cargas.

Para baja corriente de alta duración, los apartarrayos deben de soportar:

- a) Una onda rectangular de 1000 A de cresta, por 2000 microsegundos y 20 descarga.
- b) Corrientes de descarga de línea de transmisión.

Deberá de tener una capacidad de disipación de la energía de las sobretensiones transitorias de maniobra de interruptores (switches) igual a 7.2 kW-seg/kV.

Deben soportar sin daño la prueba de ciclo de trabajo con una corriente de impulso de  $8 \times 20$  microseg. con un valor de cresta de 10 kA.

Deberán tener una capacidad de alivio de presión interna producida por una corriente de 40 kA por 0.2 seg.

La distancia de fuga de fase a tierra debe estar referida a la tensión nominal del apartarrayos dividida entre la raíz de tres y expresada en cm/kV al neutro. Esta distancia no debe ser en ningún caso inferior a 3.5 cm/kV al neutro.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS

TENSIÓN NOMINAL SISTEMA f-f	TENSIÓN NOMINAL DEL APARTARRAYOS	TENSIÓN MÁXIMA CONTINUA QUE SOPORTA EL APARTARRAYOS	TENSIÓN MÁXIMA A FRENTE DE ONDA	TENSIÓN MÁXIMAS A LA DESCARGA (kV cresta) PARA UN IMPULSO DE CORRIENTE INDICADO ONDA DE 8 x 20 microsegundos.				
				3 KA	5 KA	10 KA	20 KA	40 KA
13.8	10	8	-----	24	21-25	23-27	25-31	36
	12	10		29	28-36	30-36	33-38	44
24.0	18	15	-----	43	41-55	45-50	50-57	65
	21	17		50	48-53	52-58	58-66	72
	24	19		55	54-61	59-66	66-76	82
34.5	27	22	-----	62	61-67	67-75	75-85	93
	30	24		71	65-73	69-77	77-88	103
69.0	54	43	-----	111	115-128	122-134	135-149	157-160
	60	48		133	128-143	136-149	150-165	169-178
115	90	72	260	184	189-213	202-222	219-248	261-266
	96	77	275	215	204-227	218-237	241-264	271-284
	108	86	310	220	230-256	245-268	271-297	313-320
230	172	138	500	350	364-410	390-430	429-471	498-513
	180	144	520	368	381-422	408-445	449-485	523-528
	192	153	550	393	404-454	430-475	466-520	520-568
400	300	240	860	611	636-690	680-740	748-805	869-892
	312	250	900	637	679-725	718-770	760-840	905-921
	336	269	970	684	731-780	773-830	840-910	973-990
	360	288	1000	735	760-820	805-970	875-950	975-1063

Tabla VI.13 CARACTERISTICAS DE APARTARRAYOS TIPO ESTACION DE OXIDO DE ZINC.

Considerando todo lo anterior, y tomando los diagramas unifilares para las subestaciones (Apéndice B) se pueden llenar las formas de requisición de equipo que se muestran en el Apéndice B. Estas contienen los datos esenciales que se requieren para la evaluación de los equipos disponibles en el mercado.

<sup>20</sup> Ver la norma CFE-VIA400-17.

---

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

## B) RESULTADOS DE CORTO CIRCUITO.

## RADIAL

En base a los casos analizados, los cuales implican los más severos que pudieran tenerse y considerando la gran variedad de posibilidades existentes se desprende que para la interconexión eléctrica de los complejos petroquímicos, podemos agrupar los resultados de la siguiente manera:

- 1.- **FUNCIONAMIENTO INDEPENDIENTE DE CADA COMPLEJO.** Se considera que cada complejo puede trabajar independientemente y de una manera confiable; siempre y cuando se cumpla según el punto 11.4, pags. 14-27 que:

CPQ-1. Según se pudo observar, cuando los 4 TG's están funcionando, se sobrepasa la capacidad interruptiva de los interruptores principales. La solución más viable, ya que no considera desembolsos ni cambios en el sistema de este centro de trabajo, consiste en que nunca se encuentren operando los 4 generadores al mismo tiempo y conectados al bus de sincronización. Otra posible solución consiste en cambiar reactores o interruptores por unos de mayor capacidad. Si se cambiaran los reactores por unos similares a los del CPQ 2 (0.5 ohms), no se tendría una mejora notable, según resultados al realizar corridas adicionales de este centro de trabajo; sin embargo, considerando reactores similares a los del CPQ-4 (0.8 ohms), se podría permitir un TG más. El archivo de resultados particular para este caso se muestran en el Apéndice A y se llaman CPQ-1/0.8 ohms.

CPQ-2 y CPQ-3. En estos centros de trabajo no se observaron condiciones de operación peligrosas, por tanto se asegura una operación confiable.

CPQ-4. Dado que existen valores superiores a la capacidad de los interruptores, nunca deben estar los generadores 2 y 4 funcionando al mismo

tiempo.

- 2.- **SISTEMA INTERCONECTADO.** De los casos analizados en el punto IV.4, pags. 62-66, tenemos que:

- Dentro de la interconexión no se pueden tener las mismas condiciones que en la operación independiente de los CPQ's, ya que se observan condiciones peligrosas (CASO 1).

- En base al caso de estudio No. 2, se obtiene que el máximo número de TG's que se permiten es el que se indica a continuación. Para los casos en los que se mencionan reactores de 0.8 ohms por fase, se hace fundamentándose en el archivo de resultados UE-5 CASO 1/0.8 OHMS, que se encuentra en el Apéndice A.

CPQ-1. Únicamente 2 generadores conectados al bus de sincronización. Si se cambiaran los interruptores o reactores, se puede permitir un TG más en caso de reactores de 0.8 ohms.

CPQ-2. Trabajar únicamente con 2 conectados al bus de sincronización, podrían sustituirse los reactores por unos similares a los del CPQ-4 que son de 0.8 ohms por fase, de esta forma podría permitirse un TG más.

CPQ-3. Trabajar únicamente con 2 conectados al bus de sincronización. En caso de cambiar reactores por un valor de 0.8 ohms por fase, se podría permitir que entrara el otro TG.

CPQ-4. Nunca deberán existir dos fuentes de generación conectadas al mismo bus, como es el caso de los buses 16 y 17, esto implica trabajar únicamente con 2 TG's. Para aumentar la capacidad de generación de este centro de trabajo, se plantea instalar un reactor adicional, idéntico a los existentes (de 0.8 ohms por fase) y conectar el bus de sincronización que actualmente se encuentra desactivado. De esta forma se tendría este centro operando con tres turbogeneradores.

- 3.- **SISTEMA INTERCONECTADO Y APORTACION DEL SISTEMA DE CFE.**  
En el CASO 3, se plantea cerrar el interruptor que conecta a la subestación

---

con el Sistema de CFE, considerando las condiciones mostradas en el CASO 2A; por ser las que implican la mayor funcionabilidad y la menor cantidad de cambios en la estructura del sistema, obteniéndose que se sobrepasa la capacidad de los interruptores. Esta situación puede corregirse desconectando un TG más por complejo (CASO 4). De esta forma el sistema funcionaría satisfactoriamente.

En el caso de estudio No. 5, se presenta como opción que el sistema interconectado funcione independiente a los complejos petroquímicos, suponiendo que sus necesidades son satisfechas localmente. La idea es suministrar de energía a industrias de la región y de esta forma conseguir más recursos para los CPQ's. Como se aprecia en el UE-9, se considera un TG por complejo. No se sobrepasan los valores máximos permitidos por los interruptores asegurando una operación confiable. Para poder realizar esta configuración del sistema, se tendría que realizar un desembolso mayor, ya que habría que instalar más líneas, interruptores y barras. En los diagramas unifilares UE-9A y UE-9B se muestran posibles modificaciones. En estos diagramas se considera el arreglo de barras para la Subestación Eléctrica Maestra.

**ANILLO.**

*Utilizando la configuración básica descrita en el capítulo II.4, pags. 14-27, se observa que existen valores críticos de corto circuito en los interruptores de alta tensión; por lo cual esta opción resulta no ser satisfactoria bajo estas consideraciones. Se probó quitando generadores en los complejos; sin embargo, la situación no mejoró y se siguieron observando valores muy por encima de los valores indicados para los interruptores. En el Apéndice A, se encuentra el archivo de resultados para el caso en el que únicamente existe un turbogenerador por complejo. En vista de que se sobrepasan los valores de los interruptores se considera la posibilidad de interconexión en anillo para este sistema como no factible.*

**b) RESULTADOS DE FLUJOS DE CARGA**

Los valores obtenidos de este estudio se basan en los resultados del correspondiente de corto circuito y considerando valores reales de generación, obteniendo lo siguiente:

- 1) *Se consideraron como condiciones de operación extremas cuando se perdía generación en el CPQ-1 o CPQ-3, casos de estudio 2 y 3 del Capítulo V. No se considera pérdida total de energía en los otros centros petroquímicos debido a la limitante de la capacidad de los transformadores (50/66.5 MVA), inferior a la carga demandada por estos centros. Sin embargo, se considera que estas circunstancias son muy difíciles de presentarse.*
- 1) *La caída de tensión en los buses fue muy pequeña en todos los casos, menores al 5% recomendado en líneas de distribución y que podemos tomar como referencia en nuestro caso.*
- 2) *Los valores de corriente que circularían por las líneas de transmisión no superan los valores nominales de las mismas. Estas líneas fueron seleccionadas típicas para*

*los niveles de voltaje.*

- 3) *Se observó que los valores de los flujos de potencia en los casos estudiados, no superan la capacidad de transmisión de los transformadores, que fueron seleccionados para 50/66.5 MVA.*

*En base a lo anterior, puede asegurarse que bajo las condiciones de operación limitadas por el estudio de corto circuito, no existe ningún problema arrojado del estudio de flujos de carga.*

**c) CONCLUSIONES**

Observando los resultados obtenidos por los análisis que se realizaron, puede concluirse que la interconexión eléctrica de estos complejos petroquímicos es posible, considerando las limitantes que han sido expuestas en su oportunidad. Cabe hacer mención de que todos los análisis se realizaron con procedimientos basados en normas nacionales (CFE) e internacionales (IEEE, ANSI), por lo que se asegura que los datos obtenidos son válidos.

Además, se ha incluido un análisis del equipo mayor que será necesario adquirir para las subestaciones y los diagramas unifilares de cada una de ellas ; sin embargo, no debe pensarse que el trabajo ha terminado. Aún quedan muchas cosas por hacer; estudios económicos de los equipos seleccionados, designación de los equipos de protección, medición, control, servicios propios, coordinación de protecciones, costo de la obra, etcétera.

Aún bajo la consideración de que falta mucho por realizar, puede decirse que los propósitos iniciales al realizar ésta tesis han sido cumplidos satisfactoriamente al dejar asentadas las bases sobre las cuales se continuará el proyecto.

**APENDICE A. ARCHIVOS DE DATOS**

**DEL PROGRAMA "CORTO":**

- a.1. ARCHIVO DE DATOS RADIAL.DAT.
- a.2. ARCHIVO DE DATOS ANILLO.DAT.
- a.3. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 1.
- a.4. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 2.
- a.5. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 2A.
- a.6. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 3.
- a.7. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 4.
- a.8. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 5.
- a.9. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 6.
- a.10. RESUMEN DE RESULTADOS ADICIONAL CASO 6.
- a.11. RESUMEN DE RESULTADOS UE-1/0.8 OHMS.
- a.12. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 1/0.8 OHMS.

INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-0,  
CONSIDERANDO APORTACION DEL SISTEMA

al...

10,0,27

1,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

2,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

3,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

4,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

5,19,1

1

5

47.8,0.0758,300,13.8,1.0,1.0,6,50,90,0.013,3

8,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

7,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

8,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

9,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

10,23,1

1

5

47.8,0.0758,300,13.8,1.0,1.0,6,50,90,0.013,3

11,15,1

1

6

0.416,13.8,0,80

12,15,1

1

6

0.416,13.8,0,80

13,15,1

1

6

0.416,13.8,0,80

14,15,1

1  
6  
0.416,13.8,0,80  
15,22,1  
1  
5  
47.8,0.0758,75,13.8,1.0,1.0,6,50,90,0.013,3  
17,18,1  
1  
6  
0.8,13.8,0,85  
16,18,1  
1  
6  
0.8,13.8,0,85  
16,17,1  
1  
6  
0.8,13.8,0,85  
16,25,1  
1  
5  
47.8,0.0758,300,13.8,1.0,1.0,6,50,90,0.013,3  
19,20,1  
1  
2  
1,2,12,66.5,115,115,29.2  
23,24,1  
1  
2  
1,2,12,66.5,115,115,29.2  
21,22,1  
1  
2  
1,2,12,66.5,115,115,29.2  
25,26,1  
1  
2  
1,2,12,66.5,115,115,29.2  
20,27,1  
1  
7  
0.2144,0.7744,1,115,1  
21,27,1  
1  
7  
0.1005,0.363,1,115,1  
24,27,1  
1  
7  
0.4154,1.5004,1,115,1  
26,27,1  
1  
7  
0.4556,1.6456,1,115,1  
0,0,0

2 (RAMAL BUS 1)  
1  
8  
15.8,24.22,33.7,13.8,13.8,80  
1  
9  
16622,13.8,13.8,0.0  
1 (RAMAL BUS 2)  
1  
8  
15.8,24.22,33.7,13.8,13.8,80  
2 (RAMAL BUS 3)  
1  
8  
15.8,24.22,33.7,13.8,13.8,80  
1  
9  
16622,13.8,13.8,0.0  
1 (RAMAL BUS 4)  
1  
8  
12.5,19.16,33,13.8,13.8,80  
0 (RAMAL BUS 5)  
2 (RAMAL BUS 6)  
1  
8  
14.17,21.72,60,13.8,13.8,80  
1  
9  
39678,13.8,13.8,0.0  
2 (RAMAL BUS 7)  
1  
8  
14.17,21.72,60,13.8,13.8,80  
1  
9  
39678,13.8,13.8,0.0  
2 (RAMAL BUS 8)  
1  
8  
14.17,21.72,60,13.8,13.8,80  
1  
9  
39678,13.8,13.8,0.0  
2 (RAMAL BUS 9)  
1  
8  
11.8,18.09,45,13.8,13.8,80  
1  
9  
9851,13.8,13.8,0.0  
0 (RAMAL BUS 10)  
2 (RAMAL BUS 11)  
1  
8  
12.9,19.77,29.6,13.8,13.8,80

...al...

1  
9  
16230, 13.8, 13.8, 0.0  
2 (RAMAL BUS 12)  
1  
8  
12.9, 19.77, 29.6, 13.8, 13.8, 80  
1  
9  
16230, 13.8, 13.8, 0.0  
2 (RAMAL BUS 13)  
1  
8  
12.9, 19.77, 29.6, 13.8, 13.8, 80  
1  
9  
16230, 13.8, 13.8, 0.0  
1 (RAMAL BUS 14)  
1  
9  
5362, 13.8, 13.8, 0.0  
0 (RAMAL BUS 15)  
2 (RAMAL BUS 16)  
1  
8  
14.17, 21.72, 60, 13.8, 13.8, 80  
1  
9  
47184, 13.8, 13.8, 0.0  
3 (RAMAL BUS 17)  
1  
8  
9, 13.74, 30.31, 13.8, 13.8, 80  
1  
8  
14.17, 21.72, 60, 13.8, 13.8, 80  
1  
9  
47184, 13.8, 13.8, 0.0  
2 (RAMAL BUS 18)  
1  
8  
14.17, 21.72, 60, 13.8, 13.8, 80  
1  
9  
47184, 13.8, 13.8, 0.0  
0 (RAMAL BUS 19)  
0 (RAMAL BUS 20)  
0 (RAMAL BUS 21)  
0 (RAMAL BUS 22)  
0 (RAMAL BUS 23)  
0 (RAMAL BUS 24)  
0 (RAMAL BUS 25)  
1 (RAMAL BUS 26)  
1  
1

1800,115,115,0,0  
0 (RAMAL BUS 27)  
001 BUS 1  
13.8,0,5,3,1  
002 BUS 2  
13.8,0,5,3,1  
003 BUS 3  
13.8,0,5,3,1  
004 BUS 4  
13.8,0,5,3,1  
005 BUS 5  
13.8,0,5,3,1  
006 BUS 6  
13.8,0,5,3,1  
007 BUS 7  
13.8,0,5,3,1  
008 BUS 8  
13.8,0,5,3,1  
009 BUS 9  
13.8,0,5,3,1  
010 BUS 10  
13.8,0,5,3,1  
011 BUS 11  
13.8,0,5,3,1  
012 BUS 12  
13.8,0,5,3,1  
013 BUS 13  
13.8,0,5,3,1  
014 BUS 14  
13.8,0,5,3,1  
015 BUS 15  
13.8,0,5,3,1  
016 BUS 16  
13.8,0,5,3,1  
017 BUS 17  
13.8,0,5,3,1  
018 BUS 18  
13.8,0,5,3,1  
019 BUS FICTICIO  
13.8,0,5,3,1  
020 BUS FICTICIO  
115,0,5,3,1  
021 BUS FICTICIO  
115,0,5,3,1  
022 BUS FICTICIO  
13.8,0,5,3,1  
023 BUS FICTICIO  
13.8,0,5,3,1  
024 BUS FICTICIO  
115,0,5,3,1  
025 BUS FICTICIO  
13.8,0,5,3,1  
026 BUS 26  
115,0,5,3,1  
027 BUS 27  
115,0,5,3,1  
000

INTERCONEXION ELECTRICA ANILLO UE-00  
CONSIDERANDO APORTACION DEL SISTEMA

10.0,26

1,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

2,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

3,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

4,5,1

1

6

0.263,13.8,0,70

5,19,1

1

5

47.8,0.0758,300,13.8,1.0,1.0,6,50,90,0.013,3

6,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

7,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

8,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

9,10,1

1

6

0.5,13.8,0,80

10,23,1

1

5

47.8,0.0758,300,13.8,1.0,1.0,6,50,90,0.013,3

11,15,1

1

8

0.416,13.8,0,80

12,15,1

1

6

0.416,13.8,0,80

13,15,1

1

6

0.416,13.8,0,80

14, 15, 1  
1  
6  
0.418, 13.8, 0, 80  
15, 22, 1  
1  
5  
47.8, 0.0758, 75, 13.8, 1.0, 1.0, 6, 50, 90, 0.013, 3  
17, 18, 1  
1  
6  
0.8, 13.8, 0, 85  
16, 18, 1  
1  
6  
0.8, 13.8, 0, 85  
16, 17, 1  
1  
6  
0.8, 13.8, 0, 85  
16, 25, 1  
1  
5  
47.8, 0.0758, 300, 13.8, 1.0, 1.0, 6, 50, 90, 0.013, 3  
19, 20, 1  
1  
2  
1, 2, 12, 66.5, 115, 115, 29.2  
23, 24, 1  
1  
2  
1, 2, 12, 66.5, 115, 115, 29.2  
21, 22, 1  
1  
2  
1, 2, 12, 66.5, 115, 115, 29.2  
25, 26, 1  
1  
2  
1, 2, 12, 66.5, 115, 115, 29.2  
20, 21, 1  
1  
7  
0.3149, 1.1374, 1, 115, 1  
20, 24, 1  
1  
7  
0.4422, 1.5972, 1, 115, 1  
21, 26, 1  
1  
7  
0.5561, 2.008, 1, 115, 1  
24, 26, 1  
1  
7  
0.5628, 2.0328, 1, 115, 1

0,0,0  
2 (RAMAL BUS 1)  
1  
8  
15.8,24.22,33.7,13.8,13.8,80  
1  
9  
16622,13.8,13.8,0.0  
1 (RAMAL BUS 2)  
1  
8  
15.8,24.22,33.7,13.8,13.8,80  
2 (RAMAL BUS 3)  
1  
8  
15.8,24.22,33.7,13.8,13.8,80  
1  
9  
16622,13.8,13.8,0.0  
1 (RAMAL BUS 4)  
1  
8  
12.5,19.16,33,13.8,13.8,80  
0 (RAMAL BUS 5)  
2 (RAMAL BUS 6)  
1  
8  
14.17,21.72,60,13.8,13.8,80  
1  
9  
39678,13.8,13.8,0.0  
2 (RAMAL BUS 7)  
1  
8  
14.17,21.72,60,13.8,13.8,80  
1  
9  
39678,13.8,13.8,0.0  
2 (RAMAL BUS 8)  
1  
8  
14.17,21.72,60,13.8,13.8,80  
1  
9  
39678,13.8,13.8,0.0  
2 (RAMAL BUS 9)  
1  
8  
11.8,18.09,45,13.8,13.8,80  
1  
9  
9651,13.8,13.8,0.0  
0 (RAMAL BUS 10)  
2 (RAMAL BUS 11)  
1  
8

12.9, 19.77, 29.6, 13.8, 13.8, 80

1

9

16230, 13.8, 13.8, 0.0

2 (RAMAL BUS 12)

1

8

12.9, 19.77, 29.6, 13.8, 13.8, 80

1

9

16230, 13.8, 13.8, 0.0

2 (RAMAL BUS 13)

1

8

12.9, 19.77, 29.6, 13.8, 13.8, 80

1

9

16230, 13.8, 13.8, 0.0

1 (RAMAL BUS 14)

1

9

5362, 13.8, 13.8, 0.0

0 (RAMAL BUS 15)

2 (RAMAL BUS 16)

1

8

14.17, 21.72, 60, 13.8, 13.8, 80

1

9

47184, 13.8, 13.8, 0.0

3 (RAMAL BUS 17)

1

8

9, 13.74, 30.31, 13.8, 13.8, 80

1

8

14.17, 21.72, 60, 13.8, 13.8, 80

1

9

47184, 13.8, 13.8, 0.0

2 (RAMAL BUS 18)

1

8

14.17, 21.72, 60, 13.8, 13.8, 80

1

9

47184, 13.8, 13.8, 0.0

0 (RAMAL BUS 19)

0 (RAMAL BUS 20)

0 (RAMAL BUS 21)

0 (RAMAL BUS 22)

0 (RAMAL BUS 23)

0 (RAMAL BUS 24)

0 (RAMAL BUS 25)

1 (RAMAL BUS 26)

1

1  
1600,115,115,0.0  
001 BUS 1  
13.8,1,5,3,1  
002 BUS 2  
13.8,1,5,3,1  
003 BUS 3  
13.8,1,5,3,1  
004 BUS 4  
13.8,1,5,3,1  
005 BUS 5  
13.8,1,5,3,1  
006 BUS 6  
13.8,1,5,3,1  
007 BUS 7  
13.8,1,5,3,1  
008 BUS 8  
13.8,1,5,3,1  
009 BUS 9  
13.8,1,5,3,1  
010 BUS 10  
13.8,1,5,3,1  
011 BUS 11  
13.8,1,5,3,1  
012 BUS 12  
13.8,1,5,3,1  
013 BUS 13  
13.8,1,5,3,1  
014 BUS 14  
13.8,1,5,3,1  
015 BUS 15  
13.8,1,5,3,1  
016 BUS 16  
13.8,1,5,3,1  
017 BUS 17  
13.8,1,5,3,1  
018 BUS 18  
13.8,1,5,3,1  
019 BUS FICTICIO  
13.8,1,5,3,1  
020 BUS FICTICIO  
115,1,5,3,1  
021 BUS FICTICIO  
115,1,5,3,1  
022 BUS FICTICIO  
13.8,1,5,3,1  
023 BUS FICTICIO  
13.8,1,5,3,1  
024 BUS FICTICIO  
115,1,5,3,1  
025 BUS FICTICIO  
13.8,1,5,3,1  
026 BUS 26  
115,1,5,3,1  
000

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-5. CASO 1

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	51.46	1.1229	26.096	623.756
2	13.80	51.46	1.1229	26.096	623.756
3	13.80	51.46	1.1229	26.096	623.756
4	13.80	47.86	1.1112	17.813	425.760
5	13.80	35.31	1.0638	36.212	865.550
6	13.80	70.69	1.1752	33.964	811.817
7	13.80	70.69	1.1752	33.964	811.817
8	13.80	70.69	1.1752	33.964	811.817
9	13.80	70.31	1.1742	31.914	762.810
10	13.80	41.37	1.0883	49.996	1195.025
11	13.80	62.14	1.1536	23.921	571.768
12	13.80	62.14	1.1536	23.921	571.768
13	13.80	62.14	1.1536	23.921	571.768
14	13.80	58.03	1.1424	13.844	330.915
15	13.80	39.39	1.0806	35.660	852.355
16	13.80	39.92	1.0827	46.871	1120.323
17	13.80	74.22	1.1834	37.490	896.097
18	13.80	74.22	1.1834	37.490	896.097
19	13.80	28.68	1.0325	34.674	828.784
20	115.00	21.53	1.0000	5.339	1053.534
21	115.00	22.80	1.0000	5.433	1082.275
22	13.80	37.39	1.0726	35.303	843.812
23	13.80	24.23	1.0079	44.518	1064.094
24	115.00	19.86	1.0000	5.247	1045.086
25	13.80	24.96	1.0122	42.353	1012.329
26	115.00	19.29	1.0000	5.209	1037.527
27	115.00	25.76	1.0168	5.617	1118.851

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-6. CASO 2

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	48.97	1.1149	22.757	543.946
2	13.80	45.80	1.1036	15.247	364.447
3	13.80	48.97	1.1149	22.757	543.946
4	13.80	45.60	1.1036	15.247	364.447
5	13.80	35.29	1.0637	27.019	645.808
6	13.80	64.10	1.1568	30.720	734.289
7	13.80	64.10	1.1588	30.720	734.289
8	13.80	56.18	1.1371	11.552	276.115
9	13.80	56.18	1.1371	11.552	276.115
10	13.80	36.87	1.0704	30.001	717.087
11	13.80	59.28	1.1459	21.748	519.822
12	13.80	59.28	1.1459	21.748	519.822
13	13.80	55.24	1.1343	12.254	292.888
14	13.80	55.24	1.1343	12.254	292.888
15	13.80	39.44	1.0808	26.780	640.092
16	13.80	32.91	1.0531	25.540	610.475
17	13.80	65.88	1.1633	34.302	819.907
18	13.80	65.88	1.1633	34.302	819.907
19	13.80	32.78	1.0525	26.639	636.739
20	115.00	27.24	1.0250	4.056	807.840
21	115.00	28.71	1.0327	4.135	823.627
22	13.80	38.97	1.0789	26.725	638.785
23	13.80	31.07	1.0445	28.972	692.509
24	115.00	24.77	1.0111	3.938	784.425
25	13.80	31.35	1.0458	25.321	605.227
26	115.00	23.30	1.0022	3.858	768.460
27	115.00	32.05	1.0491	4.249	846.354

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-6A. CASO 2A

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sIm (KA)	P sIm (MVA)
1	13.80	48.79	1.1143	22.780	544.486
2	13.80	45.43	1.1029	15.265	364.868
3	13.80	48.79	1.1143	22.780	544.485
4	13.80	45.43	1.1029	15.265	364.868
5	13.80	35.07	1.0627	27.080	647.267
6	13.80	63.96	1.1584	30.730	734.514
7	13.80	63.96	1.1584	30.730	734.514
8	13.80	56.00	1.1365	11.558	278.273
9	13.80	56.00	1.1365	11.558	278.273
10	13.80	36.61	1.0693	30.057	718.438
11	13.80	59.16	1.1455	21.766	520.264
12	13.80	59.16	1.1455	21.766	520.264
13	13.80	55.09	1.1339	12.267	293.210
14	13.80	55.09	1.1339	12.267	293.210
15	13.80	39.24	1.0800	26.850	641.780
16	13.80	70.00	1.1735	36.128	863.546
17	13.80	77.84	1.1915	37.292	891.375
18	13.80	70.00	1.1735	36.128	863.546
19	13.80	32.65	1.0519	26.714	638.519
20	115.00	26.97	1.0235	4.094	815.480
21	115.00	28.44	1.0313	4.176	831.703
22	13.80	38.79	1.0782	26.799	640.563
23	13.80	30.95	1.0439	29.045	694.235
24	115.00	24.49	1.0094	3.973	791.321
26	13.80	33.79	1.0571	26.734	639.010
26	13.80	31.26	1.0453	26.338	629.549
27	115.00	23.31	1.0023	3.907	778.213
28	115.00	31.79	1.0479	4.293	855.031

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-7. CASO 3

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	37.70	1.0738	23.874	570.655
2	13.80	34.47	1.0601	16.148	385.983
3	13.80	37.70	1.0738	23.874	570.655
4	13.80	34.47	1.0601	16.148	385.983
5	13.80	22.77	1.0872	33.297	795.886
6	13.80	55.18	1.1342	31.098	743.307
7	13.80	55.18	1.1342	31.098	743.307
8	13.80	44.75	1.1006	11.852	283.283
9	13.80	44.75	1.1006	11.852	283.283
10	13.80	23.32	1.0918	36.252	866.513
11	13.80	49.51	1.1166	22.602	540.239
12	13.80	49.51	1.1166	22.602	540.239
13	13.80	44.32	1.0991	12.904	308.440
14	13.80	44.32	1.0991	12.904	308.440
15	13.80	25.97	1.1128	33.758	806.892
16	13.80	67.71	1.1679	36.801	879.619
17	13.80	77.11	1.1899	37.487	896.030
18	13.80	67.71	1.1679	36.801	879.619
19	13.80	23.62	1.0943	33.784	807.520
20	115.00	8.95	1.0000	9.504	1893.037
21	115.00	9.22	1.0000	9.974	1986.721
22	13.80	26.45	1.1165	33.960	811.718
23	13.80	22.56	1.0853	36.080	862.398
24	115.00	8.25	1.0000	8.816	1756.009
25	13.80	25.81	1.1116	35.092	838.769
26	13.80	27.75	1.1260	35.900	856.086
27	115.00	12.30	1.0000	11.927	2375.595
28	115.00	10.26	1.0000	10.452	2081.863

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-8. CASO 4

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	30.12	1.0398	20.474	489.375
2	13.80	27.52	1.0265	13.616	325.444
3	13.80	27.52	1.0265	13.616	325.444
4	13.80	27.52	1.0265	13.616	325.444
5	13.80	18.68	1.0496	24.760	591.810
6	13.80	64.69	1.1327	31.005	741.082
7	13.80	64.69	1.1327	31.005	741.082
8	13.80	44.21	1.0986	11.798	281.945
9	13.80	44.21	1.0986	11.798	281.945
10	13.80	22.97	1.0888	35.825	856.292
11	13.80	41.26	1.0878	20.359	488.629
12	13.80	36.37	1.0683	11.335	270.940
13	13.80	36.37	1.0683	11.335	270.940
14	13.80	36.37	1.0683	11.335	270.940
15	13.80	21.67	1.0777	25.630	612.621
16	13.80	67.56	1.1675	36.764	878.738
17	13.80	77.05	1.1898	37.476	895.762
18	13.80	67.56	1.1675	36.764	878.738
19	13.80	21.65	1.0774	25.972	620.797
20	115.00	8.57	1.0000	8.807	1754.312
21	115.00	8.82	1.0000	9.247	1841.827
22	13.80	22.70	1.0865	25.993	621.303
23	13.80	22.07	1.0812	35.591	850.708
24	115.00	8.13	1.0000	8.293	1651.882
25	13.80	25.69	1.1107	34.814	832.131
26	13.80	27.45	1.1239	35.559	849.944
27	115.00	12.18	1.0000	11.258	2242.416
28	115.00	9.78	1.0000	9.691	1930.224

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-9. CASO 5

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	31.73	1.1531	25.067	599.155
2	13.80	19.18	1.0545	25.957	620.422
3	13.80	43.53	1.2197	29.252	699.186
4	13.80	18.26	1.0453	25.234	603.152
5	13.80	40.83	1.2059	22.519	538.262
6	13.80	21.40	1.0752	25.410	607.356
7	13.80	54.68	1.2701	9.614	229.796
8	13.80	25.67	1.1106	35.018	837.010
9	13.80	21.73	1.0781	27.042	646.372
10	115.00	8.53	1.0000	8.549	1702.779
11	115.00	8.72	1.0000	8.943	1781.299
12	13.80	22.38	1.0838	25.761	615.755
13	13.80	20.40	1.0662	26.215	626.800
14	115.00	7.85	1.0000	7.914	1576.390
15	13.80	27.17	1.1218	35.677	852.772
16	115.00	12.17	1.0000	10.961	2183.364
17	115.00	9.61	1.0000	9.355	1863.465

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA ANILLO, CASO 6

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	41.24	1.0877	27.003	645.441
2	13.80	41.24	1.0877	27.003	645.441
3	13.80	41.24	1.0877	27.003	645.441
4	13.80	37.63	1.0735	18.579	444.078
5	13.80	23.28	1.0021	40.440	966.603
6	13.80	65.14	1.1615	34.208	817.646
7	13.80	65.14	1.1615	34.208	817.646
8	13.80	65.14	1.1615	34.208	817.646
9	13.80	64.57	1.1600	32.156	768.600
10	13.80	28.27	1.0304	54.565	1304.227
11	13.80	53.68	1.1297	24.579	587.502
12	13.80	53.68	1.1297	24.579	587.502
13	13.80	53.68	1.1297	24.579	587.502
14	13.80	48.30	1.1127	14.375	343.592
15	13.80	26.52	1.0210	40.518	968.474
16	13.80	29.85	1.0385	53.261	1273.050
17	13.80	71.58	1.1773	37.855	904.824
18	13.80	71.58	1.1773	37.855	904.824
19	13.80	22.24	1.0000	40.375	965.050
20	115.00	4.17	1.0000	22.623	4486.308
21	115.00	4.14	1.0000	24.321	4844.330
22	13.80	26.42	1.0205	40.537	968.924
23	13.80	21.17	1.0000	51.708	1235.951
24	115.00	4.14	1.0000	24.308	4841.792
25	13.80	23.80	1.0053	50.714	1212.179
26	115.00	4.04	1.0000	44.167	8797.538

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA ANILLO. CASO 6 (ADICIONAL)

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	28.41	1.0311	21.468	513.127
2	13.80	25.80	1.0170	14.370	343.477
3	13.80	25.80	1.0170	14.370	343.477
4	13.80	25.80	1.0170	14.370	343.477
5	13.80	16.62	1.0000	26.468	632.646
6	13.80	45.82	1.1043	29.303	700.405
7	13.80	35.15	1.0631	10.817	258.547
8	13.80	35.15	1.0631	10.817	258.547
9	13.80	35.15	1.0631	10.817	258.547
10	13.80	17.65	1.0000	28.129	672.354
11	13.80	40.01	1.0831	21.099	504.315
12	13.80	34.91	1.0621	11.865	283.595
13	13.80	34.91	1.0621	11.865	283.595
14	13.80	34.91	1.0621	11.865	283.595
15	13.80	19.51	1.0000	26.797	640.500
16	13.80	19.77	1.0000	28.682	690.337
17	13.80	50.87	1.1210	29.602	707.558
18	13.80	47.14	1.1088	14.644	347.631
19	13.80	19.72	1.0000	27.222	650.658
20	115.00	3.90	1.0000	20.797	4142.616
21	115.00	3.88	1.0000	22.553	4492.259
22	13.80	20.57	1.0000	26.998	645.323
23	13.80	20.71	1.0000	28.852	689.630
24	115.00	3.89	1.0000	22.492	4480.144
25	13.80	24.59	1.0100	30.000	717.064
26	115.00	3.84	1.0000	41.424	8251.103

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
\*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: UE-1/0.8 OHMS

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	81.52	1.3635	20.249	484.007
2	13.80	81.52	1.3635	20.249	484.007
3	13.80	81.52	1.3635	20.249	484.007
4	13.80	81.29	1.3628	23.009	549.974
5	13.80	82.36	1.3659	26.439	631.947

\*\*\* ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO \*\*\*  
 \*\*\* RESUMEN DE RESULTADOS \*\*\*

PROYECTO: INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL UE-5. CASO 1/0.8 OHMS

NUMERO DE RED: 2

APLICACION: MAGNITUDES INTERRUPTIVAS (APERTURA DE CONTACTOS) PARA  
 INTERRUPTORES EN ALTA TENSION (MAYORES A 1 KV)

BUS	KVB (KV)	X/R	FM	I sim (KA)	P sim (MVA)
1	13.80	69.45	1.1722	19.037	455.021
2	13.80	69.45	1.1722	19.037	455.021
3	13.80	69.45	1.1722	19.037	455.021
4	13.80	70.21	1.1740	21.513	514.205
5	13.80	36.01	1.0668	34.449	823.421
6	13.80	74.09	1.1831	29.903	714.754
7	13.80	74.09	1.1831	29.903	714.754
8	13.80	74.09	1.1831	29.903	714.754
9	13.80	73.77	1.1824	27.820	664.966
10	13.80	38.67	1.0778	40.717	973.223
11	13.80	69.13	1.1714	19.420	464.189
12	13.80	69.13	1.1714	19.420	464.189
13	13.80	69.13	1.1714	19.420	464.189
14	13.80	63.78	1.1580	8.524	203.740
15	13.80	37.36	1.0724	30.258	723.226
16	13.80	41.29	1.0880	46.561	1112.920
17	13.80	74.59	1.1842	37.475	895.747
18	13.80	74.59	1.1842	37.475	895.747
19	13.80	29.76	1.0380	33.126	791.796
20	115.00	22.61	1.0000	4.984	992.702
21	115.00	23.61	1.0041	5.076	1011.085
22	13.80	36.79	1.0701	30.177	721.304
23	13.80	27.07	1.0240	37.753	902.385
24	115.00	20.54	1.0000	4.884	972.900
25	13.80	25.25	1.0139	41.893	1001.346
26	115.00	20.57	1.0000	4.889	973.774
27	115.00	26.81	1.0226	5.255	1046.780

**DEL PROGRAMA "FLUXLV":**

**a.13. ARCHIVO DE DATOS INTERCONEXION RADIAL**

**a.14. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 1.**

**a.15. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 2.**

**a.16. RESUMEN DE RESULTADOS CASO 3.**

INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 1

1,2  
28,10000,0  
1,2,'TPG-1',13.8,13.8,1.0  
(18.0,0.0),(12.4,9.3),(1.0,0.0),15.75,0.0  
2,3,'TPG-2',13.8,13.8,1.0  
(0.0,0.0),(0.0,0.0)  
3,2,'TPG-3',13.8,13.8,1.0  
(18.0,0.0),(12.4,9.3),(1.0,0.0),15.75,0.0  
4,3,'TPG-4',13.8,13.8,1.0  
(0.0,0.0),(0.0,0.0)  
5,6,'SINCRONIZACION',13.8,13.8,1.0  
6,1,'SLACK--->TDA-1',13.8,13.8,1.0  
(1.0,0.0),(29.6,22.2)  
7,2,'TDA-2',13.8,13.8,1.0  
(48.0,0.0),(29.6,22.2),(1.0,0.0),42.0,0.0  
8,3,'TDA-3',13.8,13.8,1.0  
(0.0,0.0),(29.6,22.2)  
9,3,'TDA-G4',13.8,13.8,1.0  
(0.0,0.0),(7.2,5.4)  
10,5,'SINCRONIZACION',13.8,13.8,1.0  
11,2,'TDA-G1',13.8,13.8,1.0  
(18.0,0.0),(13.6,10.2),(1.0,0.0),15.75,0.0  
12,2,'TDA-G2',13.8,13.8,1.0  
(18.0,0.0),(13.6,10.2),(1.0,0.0),15.75,0.0  
13,3,'TDA-G3',13.8,13.8,1.0  
(0.0,0.0),(13.6,10.2)  
14,3,'TDA-1-C1',13.8,13.8,1.0  
(0.0,0.0),(4.0,3.0)  
15,5,'SINCRONIZACION',13.8,13.8,1.0  
16,2,'TDA-1',13.8,13.8,1.0  
(48.0,0.0),(35.2,26.4),(1.0,0.0),42.0,0.0  
17,2,'TDA-2',13.8,13.8,1.0  
(48.0,0.0),(35.2,26.4),(1.0,0.0),42.0,0.0  
18,2,'TDA-3',13.8,13.8,1.0  
(48.0,0.0),(35.2,26.4),(1.0,0.0),42.0,0.0  
19,5,'FICTICIO',13.8,13.8,1.0  
20,5,'FICTICIO',115.0,115.0,1.0  
21,5,'FICTICIO',115.0,115.0,1.0  
22,5,'FICTICIO',13.8,13.8,1.0  
23,5,'FICTICIO',13.8,13.8,1.0  
24,5,'FICTICIO',115.0,115.0,1.0  
25,5,'SINCRONIZACION',13.8,13.8,1.0  
26,5,'FICTICIO',115.0,115.0,1.0  
27,5,'FICTICIO',115.0,115.0,1.0  
28,5,'BARRA PRINCIPAL',115.0,115.0,1.0  
0  
24  
1,5,(0.0002,0.0138),(0.0,0.0),0.0  
2,5,(0.0002,0.0138),(0.0,0.0),0.0  
3,5,(0.0002,0.0138),(0.0,0.0),0.0  
4,5,(0.0002,0.0138),(0.0,0.0),0.0  
5,19,(0.0004,0.0009),(0.0,0.0),0.0  
6,10,(0.0003,0.0263),(0.0,0.0),0.0

7, 10, (0.0003, 0.0263), (0.0, 0.0), 0.0  
8, 10, (0.0003, 0.0263), (0.0, 0.0), 0.0  
9, 10, (0.0003, 0.0263), (0.0, 0.0), 0.0  
10, 23, (0.0004, 0.0009), (0.0, 0.0), 0.0  
11, 15, (0.0003, 0.0218), (0.0, 0.0), 0.0  
12, 15, (0.0003, 0.0218), (0.0, 0.0), 0.0  
13, 15, (0.0003, 0.0218), (0.0, 0.0), 0.0  
14, 15, (0.0003, 0.0218), (0.0, 0.0), 0.0  
15, 22, (0.00001, 0.0002), (0.0, 0.0), 0.0  
16, 17, (0.0005, 0.0420), (0.0, 0.0), 0.0  
17, 18, (0.0005, 0.0420), (0.0, 0.0), 0.0  
18, 25, (0.0005, 0.0420), (0.0, 0.0), 0.0  
18, 25, (0.0005, 0.0420), (0.0, 0.0), 0.0  
20, 28, (0.0001, 0.0005), (0.0, 0.0), 0.0  
21, 28, (0.00001, 0.0003), (0.0, 0.0), 0.0  
24, 28, (0.0003, 0.0011), (0.0, 0.0), 0.0  
26, 26, (0.0004, 0.0009), (0.0, 0.0), 0.0  
27, 28, (0.0003, 0.0012), (0.0, 0.0), 0.0  
4  
19, 20, (0.0006, 0.018), 0.0, 1.0, 0.0  
21, 22, (0.0006, 0.018), 0.0, 1.0, 0.0  
23, 24, (0.0006, 0.018), 0.0, 1.0, 0.0  
26, 27, (0.0006, 0.018), 0.0, 1.0, 0.0

FACTOR DE ACELERACION:-----> 1.35  
 TOLERANCIA DE VOLTAJE:-----> .0000001

a14...

PROYECTO : INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
 ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 1

RESULTADOS DEL CALCULO DE VOLTAJE EN BUSES

BUS	NOMBRE-BUS	TIPO	VOLTAJES		GENERACION		CARGA		VOLTAJE
			[P.U.]	[GRADOS]	[MW]	[MVAR]	[MW]	[MVAR]	[KV]
1	TPG-1	2	1.00	.0048	18.000	10.498	12.400	9.300	13.800
2	TPG-2	3	1.00	.0043	.000	.000	.000	.000	13.800
3	TPG-3	2	1.00	.0048	18.000	10.498	12.400	9.300	13.800
4	TPG-4	3	1.00	.0043	.000	.000	.000	.000	13.800
5	SINCRONIZACI	5	1.00	.0043	.000	.000	.000	.000	13.800
6	SLACK---->TDA	1	1.00	.0000	25.418	32.288	29.600	22.200	13.800
7	TDA-2	2	1.00	.0034	48.000	32.015	29.600	22.200	13.800
8	TDA-3	3	1.00	-.0038	.000	.000	29.600	22.200	13.799
9	TDA-G4	3	1.00	-.0004	.000	.000	7.200	5.400	13.799
10	SINCRONIZACI	5	1.00	.0008	.000	.000	.000	.000	13.800
11	TDA-G1	2	1.00	.0022	18.000	15.750	13.600	10.200	13.800
12	TDA-G2	2	1.00	.0022	18.000	15.750	13.600	10.200	13.800
13	TDA-G3	3	1.00	-.0000	.000	.000	13.600	10.200	13.799
14	TDA-1-C1	3	1.00	.0011	.000	.000	4.000	3.000	13.800
15	SINCRONIZACI	5	1.00	.0018	.000	.000	.000	.000	13.800
16	TDA-1	2	1.00	.0122	48.000	26.717	35.200	26.400	13.800
17	TDA-2	2	1.00	.0137	48.000	26.259	35.200	26.400	13.800
18	TDA-3	2	1.00	.0122	48.000	26.717	35.200	26.400	13.800
19	FICTICIO	5	1.00	.0043	.000	.000	.000	.000	13.800
20	FICTICIO	5	1.00	.0033	.000	.000	.000	.000	114.999
21	FICTICIO	5	1.00	.0033	.000	.000	.000	.000	114.999
22	FICTICIO	5	1.00	.0017	.000	.000	.000	.000	13.800
23	FICTICIO	5	1.00	.0008	.000	.000	.000	.000	13.800
24	FICTICIO	5	1.00	.0032	.000	.000	.000	.000	114.999
25	SINCRONIZACI	5	1.00	.0076	.000	.000	.000	.000	13.800
26	FICTICIO	5	1.00	.0074	.000	.000	.000	.000	115.000
27	FICTICIO	5	1.00	.0035	.000	.000	.000	.000	114.999
28	BARRA PRINCI	5	1.00	.0033	.000	.000	.000	.000	114.999

\*\*\*\*\* TIPO DE BUSES \*\*\*\*\*

SLACK= 1 VCONT-CAR= 2 GEN-CAR= 3 ARRANQUE=4 ENLACE=5

PROYECTO : INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
 ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 1

== FLUJOS DE POTENCIA ==

BUS	A	BUS	PACT. [MW]	OREAC. [MVAR]	MAGNITUD [MVA]
1		5	5.4601	1.1739	5.5848
2		5	-.1398	.0020	.1398
3		5	5.4601	1.1739	5.5848
4		5	-.1398	.0020	.1398
5		1	-5.4601	-1.1738	5.5848
5		2	.1398	-.0020	.1398
5		3	-5.4601	-1.1738	5.5848
5		4	.1398	-.0020	.1398
5		19	8.9120	3.3247	9.5119
6		10	-4.1839	10.0876	10.9208
7		10	18.3550	9.8089	20.8116
8		10	-29.6449	-22.2080	37.0408
9		10	-7.2449	-5.4016	9.0369
10		6	4.1839	-10.0873	10.9205
10		7	-18.3550	-9.8078	20.8110
10		8	29.6450	22.2116	37.0429
10		9	7.2449	5.4018	9.0370
10		23	-23.9448	-7.2390	25.0152
11		15	4.3042	5.5459	7.0202
12		15	4.3042	5.5459	7.0202
13		15	-13.8957	-10.2009	17.0772
14		15	-4.0958	-3.0059	5.0805
15		11	-4.3042	-5.5458	7.0201
15		12	-4.3042	-5.5458	7.0201
15		13	13.8957	10.2016	17.0778
15		14	4.0958	3.0060	5.0805
15		22	-19.2743	.9632	19.2984
16		17	-6.4005	.0748	6.4009
16		25	19.1085	.2307	19.1098
17		16	6.4005	-.0747	6.4009
17		18	6.3695	-.0743	6.3699
18		17	-6.3695	.0745	6.3699
18		25	19.1395	.2303	19.1409
19		5	-8.9120	-3.3247	9.5119
19		20	9.5707	3.2580	10.1101
20		19	-9.5707	-3.2578	10.1100
20		28	6.0450	3.5596	7.0152
21		22	15.8151	2.9242	15.8865
21		28	-21.8105	-1.2610	21.8470
22		15	19.2743	-.9632	19.2984

== FLUJOS DE POTENCIA ==

BUS	A	BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]	MAGNITUD [MVA]
22		21	-15.6151	-2.9237	15.8864
23		10	23.9449	7.2391	25.0152
23		24	-23.5102	-7.1306	24.5678
24		23	23.5102	7.1317	24.5681
24		28	-24.9937	-6.7312	25.8842
25		16	-19.1084	-2.2292	19.1098
25		18	-19.1395	-2.2288	19.1408
25		26	36.7012	1.5745	36.7350
26		25	-36.7011	-1.5743	36.7349
26		27	37.2259	1.1481	37.2436
27		26	-37.2258	-1.1456	37.2435
27		28	35.8585	1.4683	35.8885
28		20	-6.0450	-3.5598	7.0152
28		21	21.8105	1.2610	21.8470
28		24	24.9937	6.7313	25.8842
28		27	-35.8584	-1.4682	35.8885

...a14...

## \*\*\* SUMA DE POTENCIA EN LOS NODOS \*\*\*

BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]
1	-.1399	-.0244
2	-.1396	.0020
3	-.1399	-.0244
4	-.1396	.0020
5	-1.7290	.9730
6	.0000	.0000
7	-.0450	-.0065
8	-.0449	-.0080
9	-.0449	-.0016
10	-1.2261	.4794
11	-.0958	-.0041
12	-.0958	-.0041
13	-.0957	-.0009
14	-.0958	-.0059
15	-10.0912	3.0790
16	-.0920	-.0118
17	-.0301	-.0082
18	-.0300	-.0118
19	.6588	-.0667
20	-3.5258	.3019
21	-6.1954	1.6631
22	3.6592	-3.8669
23	.4347	.1085
24	-1.4834	.4005
25	-1.5467	1.1165
26	.5248	-.4262
27	-1.3674	.3227
28	4.9009	2.9645

FACTOR DE ACELERACION:-----> 1.35  
 TOLERANCIA DE VOLTAJE:-----> .000001

a15...

PROYECTO : INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
 ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 2

RESULTADOS DEL CALCULO DE VOLTAJE EN BUSES

BUS	NOMBRE-BUS	TIPO	VOLTAJES		GENERACION		CARGA		VOLTAJE	
			[P.U.]	[GRADOS]	[MW]	[MVAR]	[MW]	[MVAR]	[KV]	
1	TPG-1	2	1.00	-.0037	.000	10.975	12.400	9.300	13.800	
2	TPG-2	3	1.00	-.0027	.000	.000	.000	.000	13.800	
3	TPG-3	2	1.00	-.0037	.000	10.975	12.400	9.300	13.800	
4	TPG-4	3	1.00	-.0027	.000	.000	.000	.000	13.800	
5	SINCRONIZACI	5	1.00	-.0027	.000	.000	.000	.000	13.800	
6	SLACK--->TDA	1	1.00	.0000	37.168	31.408	29.800	22.200	13.800	
7	TDA-2	2	1.00	.0016	48.000	31.271	29.800	22.200	13.800	
8	TDA-3	3	1.00	-.0055	.000	.000	29.600	22.200	13.799	
9	TDA-G4	3	1.00	-.0022	.000	.000	7.200	5.400	13.799	
10	SINCRONIZACI	5	1.00	-.0011	.000	.000	.000	.000	13.800	
11	TDA-G1	2	1.00	.0000	18.000	15.750	13.600	10.200	13.800	
12	TDA-G2	2	1.00	.0000	18.000	15.750	13.600	10.200	13.800	
13	TDA-G3	3	1.00	-.0022	.000	.000	13.600	10.200	13.800	
14	TDA-1-C1	3	1.00	-.0010	.000	.000	4.000	3.000	13.800	
15	SINCRONIZACI	5	1.00	-.0005	.000	.000	.000	.000	13.800	
16	TDA-1	2	1.00	.0091	48.000	26.413	35.200	26.400	13.800	
17	TDA-2	2	1.00	.0106	48.000	26.260	35.200	26.400	13.800	
18	TDA-3	2	1.00	.0091	48.000	26.412	35.200	26.400	13.800	
19	FICTICIO	5	1.00	-.0026	.000	.000	.000	.000	13.800	
20	FICTICIO	5	1.00	-.0000	.000	.000	.000	.000	114.999	
21	FICTICIO	5	1.00	.0000	.000	.000	.000	.000	114.999	
22	FICTICIO	5	1.00	-.0005	.000	.000	.000	.000	13.800	
23	FICTICIO	5	1.00	-.0011	.000	.000	.000	.000	13.800	
24	FICTICIO	5	1.00	-.0000	.000	.000	.000	.000	114.999	
25	SINCRONIZACI	5	1.00	.0045	.000	.000	.000	.000	13.800	
26	FICTICIO	5	1.00	.0043	.000	.000	.000	.000	13.800	
27	FICTICIO	5	1.00	.0003	.000	.000	.000	.000	114.999	
28	BARRA PRINCI	5	1.00	.0000	.000	.000	.000	.000	114.999	

\*\*\*\*\* TIPO DE BUSES \*\*\*\*\*

SLACK= 1 VCONT-CAR= 2 GEN-CAR= 3 ARRANQUE=4 ENLACE=5

PROYECTO : INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 2

## \*\* FLUJOS DE POTENCIA \*\*

BUS	A	BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]	MAGNITUD [MVA]
1		5	-12.3501	1.6483	12.4597
2		5	.0506	-.0007	.0508
3		5	-12.3501	1.6483	12.4597
4		5	.0506	-.0007	.0508
5		1	12.3501	-1.6481	12.4598
5		2	-.0506	.0007	.0508
5		3	12.3501	-1.6481	12.4598
5		4	-.0506	.0007	.0508
5		19	-24.1126	3.4329	24.3557
6		10	7.5684	9.2056	11.9174
7		10	18.4047	9.0599	20.5138
8		10	-29.5952	-22.2077	37.0008
9		10	-7.1952	-5.4020	8.9973
10		6	-7.5684	-9.2053	11.9171
10		7	-18.4047	-9.0588	20.5133
10		8	29.5953	22.2113	37.0030
10		9	7.1952	5.4022	8.9975
10		23	-10.5821	-8.5419	13.5994
11		15	4.4448	5.5439	7.1057
12		15	4.4448	5.5439	7.1057
13		15	-13.5552	-10.2024	16.8656
14		15	-3.9552	-3.0077	4.9689
15		11	-4.4448	-5.5437	7.1058
15		12	-4.4448	-5.5437	7.1056
15		13	13.5552	10.2030	16.9860
15		14	3.9552	3.0078	4.9690
15		22	-3.7205	.1861	3.7252
16		17	-6.4006	.0752	6.4010
16		25	10.1882	.0017	19.1882
17		16	6.4006	-.0750	6.4010
17		18	6.3948	-.0608	6.3951
18		17	-6.3948	.0609	6.3951
18		25	19.1940	-.0126	19.1940
19		5	24.1126	-3.4329	24.3557
19		20	-24.3820	3.4954	24.6115
20		19	24.3820	-3.4943	24.6113
20		28	-23.5039	5.8929	24.2314
21		22	5.4415	3.2624	6.3445
21		28	-4.6570	2.1420	5.1260
22		15	3.7205	-.1861	3.7252

## \*\* FLUJOS DE POTENCIA \*\*

BUS	A	BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]	MAGNITUD [MVA]
22		21	-5.4415	-3.2623	8.3445
23		10	10.5821	8.5419	13.5994
23		24	-10.5925	-8.4548	13.5530
24		23	10.5925	8.4551	13.5532
24		28	-10.1436	-7.5288	12.6323
25		16	-19.1882	-.0001	19.1882
25		18	-19.1939	.0141	19.1939
25		26	38.1427	-.3925	38.1447
26		25	-38.1426	.3926	38.1446
26		27	38.4633	.0784	38.4634
27		26	-38.4633	-.0757	38.4633
27		28	39.0473	1.8825	39.0827
28		20	23.5039	-5.8929	24.2314
28		21	4.6570	-2.1420	5.1260
28		24	10.1436	7.5288	12.8324
28		27	-39.0473	-1.6624	39.0826

...a15...

## \*\*\* SUMA DE POTENCIA EN LOS NODOS \*\*\*

BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]
1	.0499	-.0262
2	.0506	-.0007
3	.0499	-.0262
4	.0506	-.0007
5	.4865	.1382
6	.0000	.0000
7	.0047	-.0111
8	.0048	-.0077
9	.0048	-.0020
10	.2352	.8076
11	.0448	-.0061
12	.0448	-.0061
13	.0448	-.0024
14	.0448	-.0077
15	4.9004	2.3093
16	-.0124	.0642
17	-.0046	.0046
18	-.0009	.0359
19	-.2494	.0625
20	.8581	2.3988
21	.7845	5.4045
22	-1.7210	-3.4484
23	-.0104	.0871
24	.4489	.9263
25	-.2395	-.3785
26	.3207	.4710
27	.5841	1.5888
28	-.7427	-2.1684

FACTOR DE ACCELERACION:-----> 1.35  
 TOLERANCIA DE VOLTAJE:-----> .000001

a16...

PROYECTO : INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
 ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 3

RESULTADOS DEL CALCULO DE VOLTAJE EN BUSES

BUS	NOMBRE-BUS	TIPO	VOLTAJES		GENERACION		CARGA		VOLTAJE
			[P.U.]	[GRADOS]	[MW]	[MVAR]	[MW]	[MVAR]	[KV]
1	TPG-1	2	1.00	.0024	18.000	10.625	12.400	9.300	13.800
2	TPG-2	3	1.00	.0019	.000	.000	.000	.000	13.800
3	TPG-3	2	1.00	.0024	18.000	10.625	12.400	9.300	13.800
4	TPG-4	3	1.00	.0019	.000	.000	.000	.000	13.800
5	SIN. RONIZACI	5	1.00	.0019	.000	.000	.000	.000	13.800
6	SLACK---->TDA	1	1.00	.0000	34.508	31.753	29.600	22.200	13.800
7	TDA-2	2	1.00	.0020	48.000	31.584	29.600	22.200	13.800
8	TDA-3	3	1.00	-.0051	.000	.000	29.600	22.200	13.799
9	TDA-G4	3	1.00	-.0018	.000	.000	7.200	5.400	13.799
10	SINCRONIZACI	5	1.00	-.0007	.000	.000	.000	.000	13.800
11	TDA-G1	2	1.00	-.0051	.000	15.750	13.600	10.200	13.800
12	TDA-G2	2	1.00	-.0051	.000	15.750	13.600	10.200	13.800
13	TDA-G3	3	1.00	-.0050	.000	.000	13.600	10.200	13.799
14	TDA-1-C1	3	1.00	-.0039	.000	.000	4.000	3.000	13.800
15	SINCRONIZACI	5	1.00	-.0034	.000	.000	.000	.000	13.800
16	TDA-1	2	1.00	.0098	48.000	26.723	35.200	26.400	13.800
17	TDA-2	2	1.00	.0113	48.000	26.265	35.200	26.400	13.800
18	TDA-3	2	1.00	.0098	48.000	26.723	35.200	26.400	13.800
19	FICTICIO	5	1.00	.0019	.000	.000	.000	.000	13.800
20	FICTICIO	5	1.00	.0008	.000	.000	.000	.000	114.999
21	FICTICIO	5	1.00	.0007	.000	.000	.000	.000	114.999
22	FICTICIO	5	1.00	-.0033	.000	.000	.000	.000	13.800
23	FICTICIO	5	1.00	-.0007	.000	.000	.000	.000	13.800
24	FICTICIO	5	1.00	.0007	.000	.000	.000	.000	114.999
25	SINCRONIZACI	5	1.00	.0052	.000	.000	.000	.000	13.800
26	FICTICIO	5	1.00	.0050	.000	.000	.000	.000	13.800
27	FICTICIO	5	1.00	.0010	.000	.000	.000	.000	114.999
28	BARRA PRINCI	5	1.00	.0007	.000	.000	.000	.000	114.999

\*\*\*\*\* TIPO DE BUSES \*\*\*\*\*

SLACK- 1 VCONT-CAR- 2 GEN-CAR- 3 ARRANQUE-4 ENLACE=5

PROYECTO : INTERCONEXION ELECTRICA RADIAL  
 ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA. CASO 3

...a16...

\*\* FLUJOS DE POTENCIA \*\*

BUS	A	BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]	MAGNITUD [MVA]
1		5	5.6047	1.3443	5.7637
2		5	.0046	-.0000	.0046
3		5	5.6047	1.3443	5.7637
4		5	.0046	-.0000	.0046
5		1	-5.6047	-1.3443	5.7637
5		2	-.0046	.0000	.0046
5		3	-5.6047	-1.3443	5.7637
5		4	-.0046	.0000	.0046
5		19	11.1713	2.9826	11.5626
6		10	4.9063	9.5533	10.7395
7		10	18.4001	9.3774	20.6518
8		10	-29.5999	-22.2079	37.0047
9		10	-7.1999	-5.4020	9.0011
10		6	-4.9063	-9.5530	10.7393
10		7	-18.4001	-9.3782	20.6513
10		8	29.6000	22.2115	37.0069
10		9	7.1999	5.4022	9.0012
10		23	-13.3998	-7.9518	15.5816
11		15	-13.5174	5.5461	14.6110
12		15	-13.5174	5.5461	14.6110
13		15	-13.5174	-10.2022	16.9353
14		15	-3.9175	-3.0080	4.9391
15		11	13.5174	-5.5457	14.6108
15		12	13.5174	-5.5457	14.6108
15		13	13.5174	10.2028	16.9357
15		14	3.9175	3.0081	4.9392
15		22	-35.6335	-1.1964	35.6536
16		17	-6.4001	.0609	6.4004
16		25	19.1948	.2573	19.1966
17		16	6.4001	-.0607	6.4004
17		18	6.3982	-.0607	6.3985
18		17	-6.3982	.0609	6.3985
18		25	19.1968	.2573	19.1985
19		5	-11.1713	-2.9826	11.5626
19		20	11.1741	2.9081	11.5458
20		19	-11.1741	-2.9059	11.5458
20		28	11.5327	2.4619	11.7926
21		22	38.7523	3.7750	38.9357
21		28	-37.9529	-2.7089	38.0495
22		15	35.6335	1.1964	35.6536

\*\* FLUJOS DE POTENCIA \*\*

BUS	A	BUS	PACT. [MW]	QREAC. [MVAR]	MAGNITUD [MVA]
22		21	-38.7522	-3.7723	38.9354
23		10	13.3998	7.9518	15.5816
23		24	-13.0866	-7.3452	15.0070
24		23	13.0866	7.3456	15.0072
24		28	-12.8483	-7.3331	14.7937
25		18	-19.1948	-.2557	19.1965
25		18	-19.1967	-.2557	19.1984
25		26	38.5091	.7697	38.5168
26		25	-38.5090	-.7695	38.5167
26		27	38.6364	.8347	38.6455
27		26	-38.6364	-.8320	38.6453
27		28	38.9407	1.1929	38.9589
28		20	-11.5327	-2.4619	11.7926
28		21	37.9529	2.7090	38.0495
28		24	12.8483	7.3332	14.7937
28		27	-38.9406	-1.1928	38.9589

...a16...

## \*\*\* SUMA DE POTENCIA EN LOS NODOS \*\*\*

BUS	FACT. [MW]	QREAC. [MVAR]
1	.0047	.0195
2	.0048	-.0000
3	.0047	.0195
4	.0046	-.0000
5	-.0474	.2942
6	.0000	.0000
7	.0000	-.0066
8	.0000	-.0079
9	.0001	-.0020
10	.0937	.7326
11	.0826	-.0039
12	.0826	-.0039
13	.0826	-.0022
14	.0825	-.0080
15	8.8363	.9231
16	-.0053	-.0050
17	-.0017	.0136
18	-.0015	-.0050
19	.0028	-.0764
20	.3587	-.4440
21	.7993	1.0661
22	-3.1187	-2.5759
23	.3132	.6067
24	.2383	.0124
25	.1175	.2582
26	.1274	.0652
27	.3043	.3609
28	.3279	6.3875

**APENDICE B.**

**DIAGRAMAS UNIFILARES Y FORMATOS DE REQUISICION PARA EQUIPO EN LAS SUBESTACIONES.**

**D.1. DIAGRAMA UNIFILAR PARA LOS COMPLEJOS CPQ-1, CPQ-2 Y CPQ-3.**

**D.2. DIAGRAMA UNIFILAR PARA EL COMPLEJO CPQ-4.**

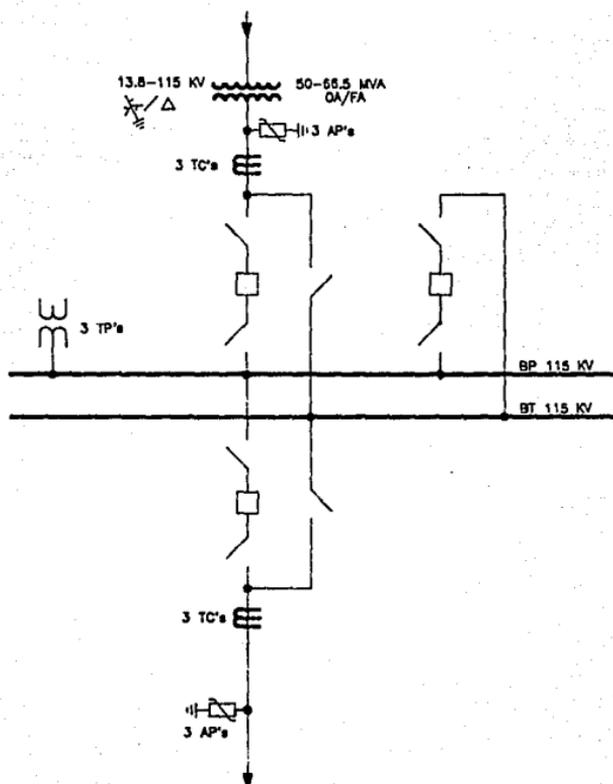
**D.3. DIAGRAMA UNIFILAR PARA LA SUBESTACION ELECTRICA MAESTRA.**

**D.4. FORMATOS DE REQUISICION DE EQUIPO PARA LA SUBESTACION MAESTRA.**

## DIAGRAMA UNIFILAR PARA LAS SUBESTACIONES DE LOS CPQ's 1, 2 y 3

## ARREGLO DE BARRA PRINCIPAL BARRA DE TRANSFERENCIA

13.8-115 KV



A S.E. MAESTRA

DIAGRAMA UNIFILAR EN SF<sub>6</sub> DE LA SUBESTACION DEL CPQ-4 (13.8-115 KV)  
 CON ARREGLO DE BARRA PRINCIPAL BARRA DE TRANSFERENCIA

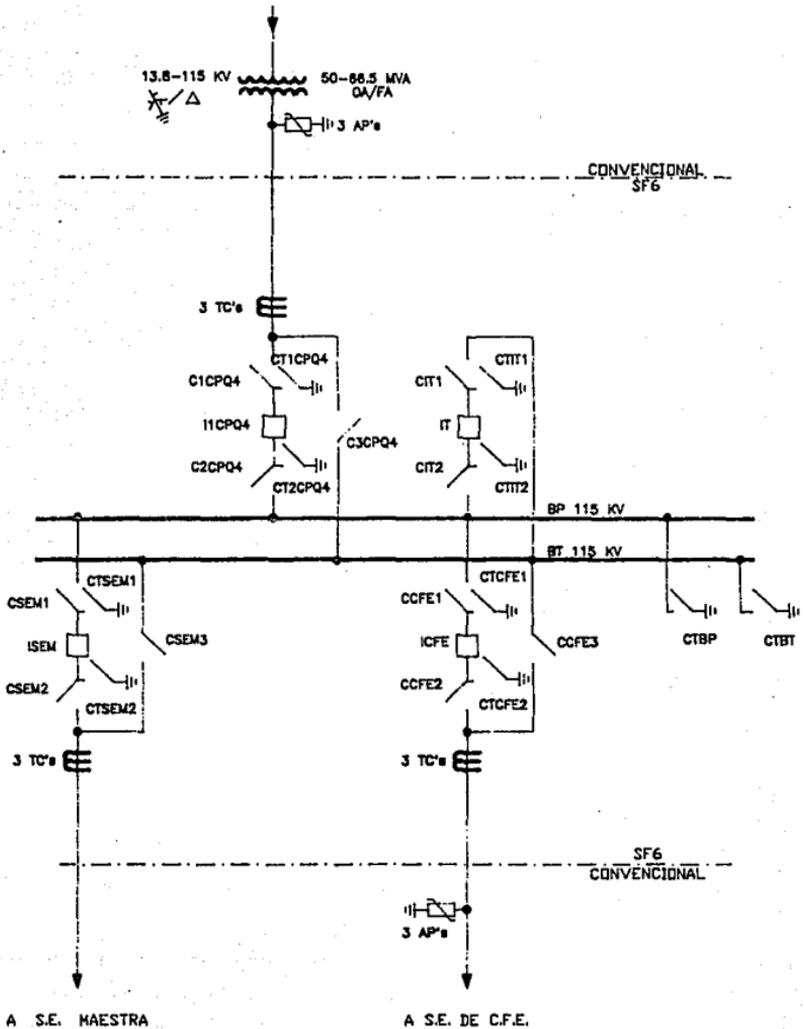
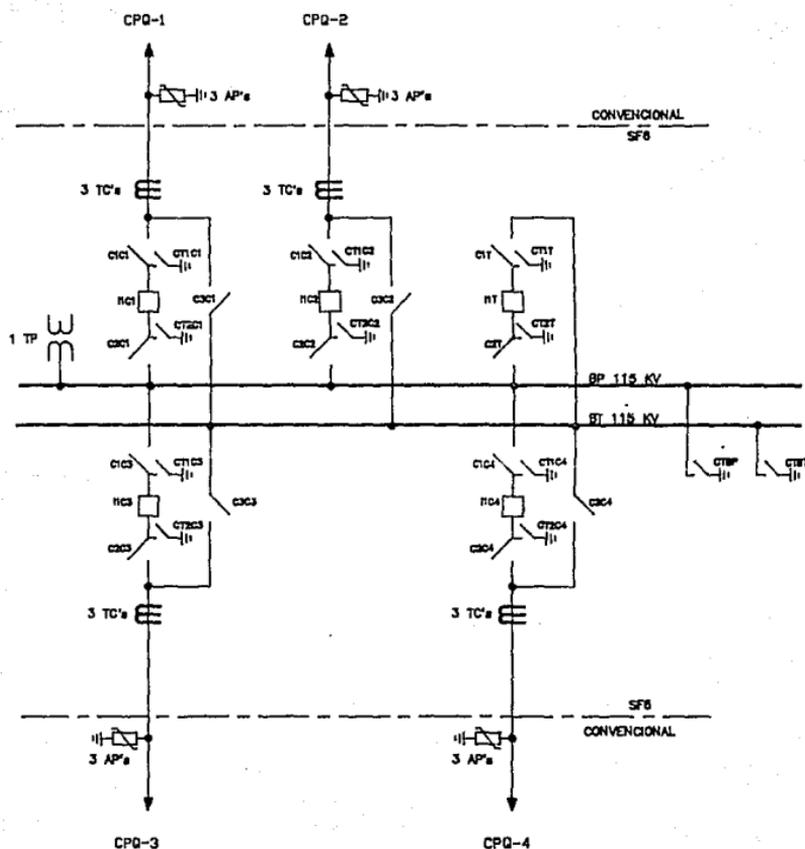


DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBSTACION MAESTRA (SWITCHED) CON  
ARREGLO DE BARRA PRINCIPAL BARRA DE TRANSFERENCIA EN SF6



CARACTERISTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BLINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestacion Electrica Maestra

(SWITCHED)

CARACTERISTICAS GENERALES
Requisición No.:
(cantidad y descripción de la subestación)

DESCRIPCION DEL SITIO
Altitud de la instalación _____ asnm
Temperatura máxima exterior _____ °C
Temperatura mínima exterior _____ °C
Temperatura máxima interior _____ °C
Temperatura mínima interior _____ °C
Aceleración horizontal máxima _____ g
Velocidad del viento máxima _____ Km/h
Coefficiente sísmico _____

CARACTERISTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BLINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

SUBESTACION ELECTRICA MAESTRA (SWITCHED)

SERA DEL TIPO COMPACTA INTERIOR

CARACTERISTICAS PARTICULARES DE LA INSTALACION
1.- Tensión nominal del sistema _____ 115 _____ KV rcm
2.- Tensión máxima del sistema _____ 123 _____ KV rcm
3.- Arreglo de barras: _____
BARRA PRINCIPAL - BARRA DE TRANSFERENCIA _____
4.- Número y tipo de bahías:
- bahías de salida a líneas (aéreas o cable) _____ 4 AEREAS _____
- bahías de salida a equipo de transformación _____
- bahías de enlace de barras y/o transformación _____ 1 _____
5.- Número y tipo de terminales de salida (se refiere a un conjunto de 3 fases)
- terminales barra SF <sub>6</sub> a boquilla SF <sub>6</sub> -aire _____
- terminales barra SF <sub>6</sub> a terminal cable _____ 4 _____
(sin incluir la terminal de cable)
- terminales barra SF <sub>6</sub> a boquilla SF <sub>6</sub> -aceite _____
de transformador (sin incluir las boquillas)

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BILINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestación Eléctrica Maestra

SWITCHEO

CARACTERÍSTICAS NOMINALES

- 1.- Frecuencia nominal 60 Hz
- 2.- Tensión nominal del equipo 125 KV rcm
- 3.- Corriente nominal en:
  - barras 2 KA rcm
  - bahías de salida 1.25 KA/cm
- 4.- Corriente nominal de interrupción 31.5 KA/cm
- 5.- Tensión de prueba de impulso para rayo  
(1.2 = 50 us) 550 KV cresta
- 6.- Tensiones de alimentación de auxiliares:
  - tensión para control 125 V c.d.
  - tensión para equipo auxiliar  
(motores, contactores, etc) 220 V c.a.
  - tensión para calefactores 220 V c.a.

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BILINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestación Eléctrica Maestra (Switcheo)

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS INTERRUPTORES

- 1.- Cantidad 8
- 2.- Tensión nominal 125 KV rcm
- 3.- Corriente nominal 1250 A rcm
- 4.- Corriente nominal de interrupción 31.5 KA rcm
- 5.- Tensión de prueba de impulso por rayo  
( 1.2 = 50 us) 550 KV cresta
- 6.- Número de mecanismos de operación Energía Almacenada
- 7.- Requiere contar con resistencias de  
preinserción SI      No   X

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BLINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestación Eléctrica Maestra (Switchero)

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CUCHILLAS DESCONECTADORAS

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1.- Cantidad  | <u>1a</u>            |
| 2.- Tensión nominal   | <u>123 kV rcm</u>    |
| 3.- Corriente nominal   | <u>1250 A rcm</u>    |
| 4.- Tensión de prueba por impulso por rayo<br>( 1.2 = 50 us ) | <u>550 KV cresta</u> |

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1.- Cantidad:  |                      |
| a) de cierre lento   | <u>5</u>             |
| b) de cierre rápido  | <u>7</u>             |
| 2.- Tensión nominal de las cuchillas                         | <u>123 KV rcm</u>    |
| 3.- Tensión de prueba de impulso por rayo<br>( 1.2 = 50 us ) | <u>550 KV cresta</u> |

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BLINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestación Eléctrica (Switchero)

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1.- Cantidad   | <u>1</u>             |
| 2.- Tensión nominal de aislamiento                           | <u>123 KV rcm</u>    |
| 3.- Tensión nominal del primario                             | <u>69 KV rcm</u>     |
| 4.- Tensión nominal de los secundarios                       | <u>115/69 V rcm</u>  |
| 5.- Tensión de prueba de impulso por rayo<br>( 1.2 = 50 us ) | <u>550 KV cresta</u> |
| 6.- Número de devanacos secundarios                          | <u>1</u>             |
| 7.- Relación de transformación                               | <u>1000/600 : 1</u>  |

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BLINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestacion Electrica Maestra

ESTA CERA DEL TIPO CONVENCIONAL Y NO EN SF<sub>6</sub>

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS APARTARRAYOS

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1.- Clase   | Estacion                       |
| 2.- Tension nominal de designacion                      | 50 KV rcm                      |
| 3.- Maxima tension de operacion continua (MCOV)         | 72.9 KV rcm                    |
| 4.- Tension de prueba de impulso por rayo (1.2 * 50 us) | 450 KV cresta                  |
| 5.- Corriente nominal de descarga                       | 40 KA                          |
| 6.- Tipo  | Disco de zinc ZnO <sub>2</sub> |
| 7.- Cantidad  |                                |

\*Nota: Cotizar la subestacion con apartarrayos y sin apartarrayos

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS  
SUBESTACIONES BLINDADAS AISLADAS CON GAS  
SF<sub>6</sub> (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) PARA TENSIONES DE 115 KV

Nombre de la instalación:

Subestacion Electrica Maestra (Switched)

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

- |   |               |
|---|---------------|
| 1.- Tension nominal de aislamiento                      | 123 KV rcm    |
| 2.- Corriente nominal del primario                      | 400 A rcm     |
| 3.- Corriente nominal del secundario                    | 5 KA rcm      |
| 4.- Tension de prueba de impulso por rayo (1.2 * 50 us) | 550 KV cresta |
| 5.- Numero total de devanados secundarios               | 3             |
| 6.- Numero de devanados secundarios para:               |               |
| a) medicion   | 1             |
| b) proteccion   | 2             |
| 7.- Relacion de transformacion                          | 400/5-5-5     |
| 8.- Relacion multiple                                   | SI No X       |
| 9.- Cantidad  | 12            |

## APENDICE C

Note  
**Typical Impedance Data for Short-Circuit Studies**  
**List of Data Tables and Figures**

- Table N1.1 Typical Reactance Values for Induction and Synchronous Machines, in Per-Unit of Machine kVA Ratings
- Table N1.2 Representative Conductor Spacings for Overhead Lines
- Table N1.3 Constants of Copper Conductors for 1 ft Symmetrical Spacing
- Table N1.4 Constants of Aluminum Cable, Steel Reinforced (ACSR), for 1 ft Symmetrical Spacing
- Table N1.5 60 Hz Reactance Spacing Factor  $X_{\mu}$ , in Ohms per Conductor per 1000 ft
- Table N1.6 60 Hz Reactance Spacing Factor  $X_{\mu}$ , in Ohms per Conductor per 1000 ft
- Table N1.7 60 Hz Reactance of Typical Three-Phase Cable Circuits, in Ohms per 1000 ft
- Fig N1.1  $X/R$  Ratio of Transformers (Based on ANSI/IEEE C37.010-1979 [2])
- Fig N1.2  $X/R$  Range for Small Generators and Synchronous Motors (Solid Rotor and Salient Pole) (From ANSI IEEE C37.010-1979 [2])
- Fig N1.3  $X/R$  Range for Three-Phase Induction Motors (From ANSI/IEEE C37.010-1979 [2])

The following tables appear in other chapters:

- Table 72 Standard Impedance Values for Three-Phase Transformers (Chapter 9)
- Table 85 Voltage-Drop Values of Three Phase Busways with Copper Bus Bars (Chapter 12)
- Table 86 Voltage-Drop Values of Three Phase Busways with Aluminum Bus Bars (Chapter 12)

Fig 98  
Typical System Fault Current

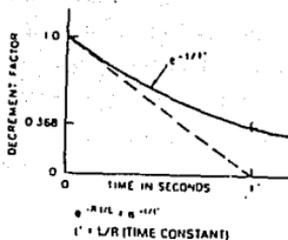
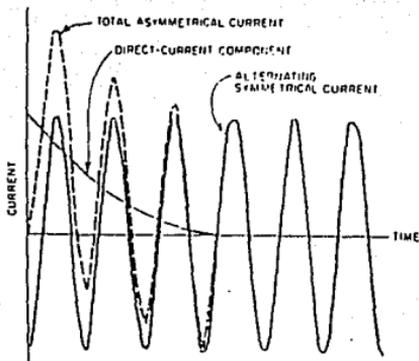
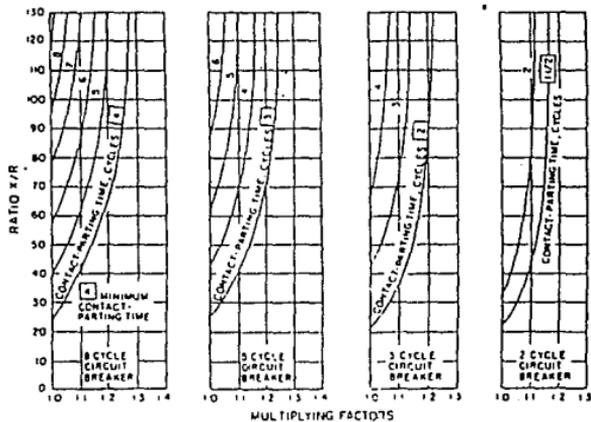


Fig 94  
Decrement Factor

Fig 103  
Multiplying Factors for Three-Phase Faults Fed Predominantly from Generators



NOTE: Through no more than one transformation or with external reactance in series that is less than 15 times generator subtransient reactance (local) (ANSI/IEEE C37.010 1970 [2])

Table N1.3  
 Constants of Copper Conductors for 1 ft Symmetrical Spacing\*

Size of Conductor (cmil) (AWG No.)	Resistance $R$ at 50 °C, 60 Hz ( $\Omega$ /conductor/1000 ft)	Reactance $X_L$ at 1 ft Spacing, 60 Hz ( $\Omega$ /conductor/1000 ft)	
1 000 000	0.0130	0.0758	
900 000	0.0142	0.0769	
800 000	0.0159	0.0782	
750 000	0.0168	0.0790	
700 000	0.0179	0.0800	
600 000	0.0206	0.0814	
500 000	0.0246	0.0829	
450 000	0.0273	0.0854	
400 000	0.0307	0.0867	
350 000	0.0348	0.0883	
300 000	0.0407	0.0902	
250 000	0.0487	0.0925	
211 600	4/0	0.0571	0.0953
167 800	3/0	0.0724	0.0981
133 100	2/0	0.0911	0.101
105 500	1/0	0.115	0.103
83 690	1	0.145	0.106
66 370	2	0.181	0.108
52 630	3	0.227	0.111
41 740	4	0.288	0.113
33 100	5	0.362	0.116
26 250	6	0.453	0.121
20 890	7	0.570	0.123
16 510	8	0.720	0.126

NOTE: For a three-phase circuit the total impedance, line to neutral, is

$$Z = R + j(X_L + X_N)$$

\* Use spacing factors of  $X_N$  of Tables N1.5 and N1.6 for other spacings.

Table N1.4  
 Constants of Aluminum Cable, Steel Reinforced (ACSR),  
 for 1 ft Symmetrical Spacing\*

Size of Conductor (cmil) (AWG No.)	Resistance $R$ at 50 °C, 60 Hz ( $\Omega$ /conductor/1000 ft)	Reactance $X_L$ at 1 ft Spacing, 60 Hz ( $\Omega$ /conductor/1000 ft)	
1 590 000	0.0129	0.0679	
1 431 000	0.0144	0.0692	
1 272 000	0.0161	0.0704	
1 192 500	0.0171	0.0712	
1 113 000	0.0183	0.0719	
954 000	0.0213	0.0738	
795 000	0.0243	0.0744	
715 500	0.0273	0.0756	
636 000	0.0307	0.0768	
556 500	0.0352	0.0786	
477 000	0.0371	0.0802	
397 500	0.0445	0.0821	
326 400	0.0526	0.0843	
256 800	0.0662	0.0875	
	4/0	0.08835	0.1099
	3/0	0.1072	0.1175
	2/0	0.1339	0.1232
	1/0	0.1674	0.1242
	1	0.2120	0.1259
	2	0.2670	0.1275
	3	0.3370	0.1291
	4	0.4240	0.1290
	5	0.5230	0.1299
	6	0.6430	0.1273

NOTE: For a three-phase circuit the total impedance, line to neutral, is

$$Z = R + j(X_L + X_N)$$

\* Use spacing factors of  $X_N$  of Tables N1.5 and N1.6 for other spacings.

Table N1.5  
60 Hz Reactance Spacing Factor  $X_g$ , in Ohms per Conductor per 1000 ft

(feet)	Separation (inches)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	—	-0.0571	-0.0412	-0.0319	-0.0252	-0.0201	-0.0159	-0.0124	-0.0093	-0.0066	-0.0042	-0.0020
1	—	0.0018	0.0015	0.0051	0.0061	0.0080	0.0093	0.0106	0.0117	0.0129	0.0139	0.0149
2	0.0159	0.0169	0.0178	0.0186	0.0195	0.0203	0.0211	0.0218	0.0225	0.0232	0.0239	0.0246
3	0.0252	0.0259	0.0265	0.0271	0.0277	0.0282	0.0288	0.0293	0.0299	0.0304	0.0309	0.0314
4	0.0319	0.0323	0.0328	0.0333	0.0337	0.0341	0.0346	0.0350	0.0354	0.0358	0.0362	0.0366
5	0.0370	0.0374	0.0377	0.0381	0.0385	0.0388	0.0392	0.0395	0.0399	0.0402	0.0405	0.0409
6	0.0412	0.0415	0.0418	0.0421	0.0424	0.0427	0.0430	0.0433	0.0436	0.0439	0.0442	0.0445
7	0.0447	0.0450	0.0453	0.0455	0.0458	0.0460	0.0463	0.0466	0.0468	0.0471	0.0473	0.0476
8	0.0478											

Table N1.6  
60 Hz Reactance Spacing Factor  $X_g$ , in Ohms per Conductor per 1000 ft

(inches)	Separation (quarter inches)		
	0	1/4	3/4
0	—	—	-0.0723
1	-0.0571	-0.0519	-0.0477
2	-0.0412	-0.0384	-0.0359
3	-0.0319	-0.0301	-0.0282
4	-0.0252	-0.0238	-0.0225
5	-0.0201	-0.01795	-0.01795
6	-0.0159	-0.01494	-0.01399
7	-0.0124	-0.01152	-0.01078
8	-0.0093	-0.00852	-0.00794
9	-0.0066	-0.00605	-0.00529
10	-0.0042	—	—
11	-0.0020	—	—
12	—	—	—

Table N1.7  
60 Hz Reactance of Typical Three-Phase Cable Circuits, in Ohms per 1000 ft

Cable Size	System Voltage			
	500 V	2400 V	4160 V	6900 V
4 to 1				
3 single-conductor cables in magnetic conduit	0.0520	0.0220	0.0418	—
1 three-conductor cable in magnetic conduit	0.0381	0.0384	0.0384	0.0522
1 three-conductor cable in nonmagnetic duct	0.0210	0.0345	0.0335	0.0453
1/0 to 4/0				
3 single-conductor cables in magnetic conduit	0.0400	0.0550	0.0550	—
1 three-conductor cable in magnetic conduit	0.0260	0.0346	0.0346	0.0448
1 three-conductor cable in nonmagnetic duct	0.0290	0.0300	0.0300	0.0386
350-750 kcmil				
3 single-conductor cables in magnetic conduit	0.0450	0.0500	0.0500	—
1 three-conductor cable in magnetic conduit	0.0325	0.0310	0.0310	0.0378
1 three-conductor cable in nonmagnetic duct	0.0270	0.0275	0.0275	0.0332

NOTE: These values may also be used for magnetic and nonmagnetic armored cables.

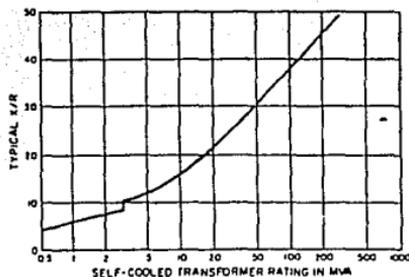


Fig N1.1  
X/R Ratio of Transformers (Based on ANSI/IEEE C37.010-1979 [2])

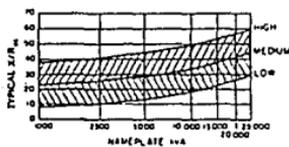


Fig N1.2  
X/R Range for Small Generators  
and Synchronous Motors  
(Solid Rotor and Salient Pole)  
(From ANSI/IEEE C37.010-1979 [2])

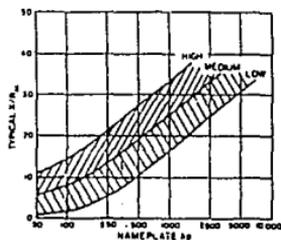


Fig N1.3  
X/R Range for Three-Phase  
Induction Motors  
(From ANSI/IEEE C37.010-1979 [2])

**Table N1.1**  
Typical Reactance Values for Induction and Synchronous  
Machines, in Per-Unit of Machine kVA Ratings\*

	$X_d'$	$X_d''$
Turbine generators <sup>†</sup>		
2 poles	0.09	0.15
4 poles	0.15	0.23
Salient-pole generators with damper windings <sup>†</sup>		
12 poles or less	0.16	0.33
14 poles or more	0.21	0.33
Synchronous motors		
6 poles	0.15	0.23
8-14 poles	0.20	0.30
16 poles or more	0.29	0.40
Synchronous condensers <sup>†</sup>	0.24	0.37
Synchronous converters <sup>†</sup>		
600 V direct current	0.29	—
250 V direct current	0.33	—
Individual large induction motors, usually above 500 V	0.17	—
Smaller motors, usually 600 V and below	See Tables 24 and 25 in text	

NOTE: Approximate synchronous motor kVA bases can be found from motor horsepower ratings, as follows:

- 0.8 power factor motor - kVA base = hp rating
- 1.0 power factor motor - kVA base = 0.8 · hp rating

\* Use manufacturer's specified values if available.  
†  $X_d'$  not normally used in short-circuit calculations.

**Table N1.2**  
Representative Conductor Spacings  
for Overhead Lines

Nominal System Voltage (volts)	Equivalent Delta Spacing (inches)
120	12
240	12
480	18
600	18
2400	30
4160	30
6900	36
12 600	42
23 000	48
34 500	54
69 000	66
115 000	204

NOTE:

When the cross section indicates conductors are strung at points of a triangle with spacings A, B, and C between pairs of conductors, the following formula may be used:

$$\text{equivalent delta spacing} = \sqrt{A \cdot B \cdot C}$$

When the conductors are located in one plane and the outside conductors are equally spaced at distance A from the middle conductor, the equivalent is 1.26 times the distance A:

$$\text{equivalent delta spacing} = \sqrt{A \cdot A \cdot 2A} \\ = 1.26 A$$

---

**BIBLIOGRAFIA.**

- 1.- **ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA.**  
WILLIAM D. STEVENSON.  
ED. MC GRAW HILL.
- 2.- **ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.**  
GILBERTO ENRIQUEZ HARPER.  
ED. LIMUSA.
- 3.- **CURSO: "SELECCION, AJUSTE Y COORDINACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS"**  
IMPARTIDO POR EL IIE, DIVISION DE SISTEMAS ELECTRICOS,  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA.  
MEXICO D.F.
- 4.- **MANUAL DEL USUARIO PARA LOS PROGRAMAS PARA ESTUDIOS DE CORTO-CIRCUITO "CORTO"  
Y "LINEA".**  
ELABORADO POR EL IIE, DIVISION DE SISTEMAS ELECTRICOS,  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA.  
MEXICO D.F.
- 5.- **GUIAS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES, TOMO I Y II.**  
ELABORADO POR EL IIE, DIVISION DE SISTEMAS ELECTRICOS,  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA.  
MEXICO D.F.
- 6.- **RED BOOK.**  
AN AMERICAN NATIONAL STANDARD  
RECOMMENDED PRACTICE FOR POWER DISTRIBUTION FOR INDUSTRIAL PLANTS  
PUBLICADO POR EL IEEE, 1986
- 7 **BROWN BOOK.**  
AN AMERICAN NATIONAL STANDARD  
POWER SYSTEM ANALYSIS  
PUBLICADO POR EL IEEE, 1980