

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



T E S I S

“PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA CÁLCULO DE CORTO CIRCUITO
APLICANDO LA NORMA ANSI-IEEE 141”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

IGNACIO HUMBERTO LABRA GARCÍA

JOSÉ ARTURO PALACIOS URIBE

DIRECTOR: ING. ARTURO MORALES COLLANTES

FALLA DE ORIGEN

MÉXICO, D.F. 1995



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 esta 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.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Ingeniería por la enseñanza que nos ha dado y el ayudarnos a crear nuestro futuro profesional.

Al Ing. Arturo Morales Collantes por su amistad, su comprensión y apoyo en nuestra etapa como estudiantes y durante la realización de este trabajo. Sus consejos siempre sinceros nos han mostrado el camino a seguir en nuestro inicio como profesionistas.

Al Ing. Ramón Vila Vivaldo por su asesoría en la realización de diversas partes de este trabajo.

A nuestros amigos Jean Paul Freyssinier, Leonardo Freyssinier y Mauricio Alarcón por su valiosa ayuda y por la paciencia que nos han tenido.

A nuestros profesores, compañeros y amigos que nos dedicaron parte de su tiempo y atención durante todos estos años de estudiantes.

Gracias
Arturo Palacios Uribe
Humberto Labra García

DEDICATORIAS

A la memoria de mi padre Humberto Labra Fuentes, cuyo ejemplo me a seguido a lo largo de la vida. Gracias Papio porque tu ejemplo y calidad humana han sido mi mejor impulso desde pequeño.

A mi madre M^a Teresa García porque tu cariño, apoyo, paciencia y fe en mí han hecho que llegara hasta donde estoy ahora y porque me has guiado y educado para ser el hombre que ahora soy. Te admiro y quiero con todo el corazón.

A mi tía Juana García por todos los sacrificios que has hecho para que yo pueda continuar adelante. Gracias por todo tu cariño.

A mis hermanas Alicia y Verónica y a mis tres sobrinos Jorgito, Gera y Eli, porque su apoyo y cariño han permitido mi crecimiento como persona.

A Minerva Alonso, mi pareja, mi compañera y complemento. Porque has estado junto a mí en todo momento y porque crees en mí. Gracias por tu amor, tu apoyo, tu comprensión y paciencia. Te quiero mucho.

A mi amigo y compañero de tesis Arturo Palacios, porque a pesar de los problemas y desacuerdos logramos llegar al final de este trabajo. Sin tu esfuerzo, ayuda y comprensión hubiera sido difícil realizar esto. Gracias Arturo.

A mis amigos que han estado a mi lado desde hace ya mucho tiempo y que de una u otra manera me han brindado su apoyo y amistad.

Humberto Labra García

DEDICATORIAS.

A toda mi familia, especialmente a mis padres y hermanos por su ejemplo, apoyo y compañía durante todos estos años.

A Humberto, Paul, Leonardo, Mario, Elsa, Laura, Daniel, José Carlos, Saúl, Salvador y Memo, por haberme brindado su amistad.

Al Ing. José Carlos Álvarez Rivero por su interés y apoyo en la realización de este trabajo.

A todos, muchas gracias.

Arturo Palacios Uribe.

"Programa de Cómputo Para Cálculo de Corto Circuito Aplicando la Norma ANSI-IEEE 141"

INDICE

	Introducción	1
I	Antecedentes	3
	Fuentes de Corto Circuito	3
	Simetría y Asimetría	7
	Algebra Matricial	17
	Sistema P.U.	28
	Componentes Simétricas	30
	Impedancias y Redes de Secuencia	37
II	Corto Circuito	41
	Monofásico	41
	Bifásico Simple	46
	Bifásico a Tierra	48
	Trifásico	51
III	Métodos de Cálculo	53
	Directo	54
	MVA's	58
	Zbus	62
IV	Programa de Cómputo	79
	Norma ANSI-IEEE 141	79
	Instructivo	97
	Programa	111
V	Caso Práctico	153
	Método Directo	173
	Método de Zbus	174
	Programa	177
	Conclusiones	196
	Bibliografía	198

INTRODUCCIÓN.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas eléctricos se caracterizan por su alto costo y complejidad, siendo parte de su diseño la selección adecuada de los elementos que protegen al sistema contra los efectos producidos por situaciones anormales durante su operación.

Existen un gran número de causas que pueden originar diferentes condiciones anormales de operación, sin embargo, la causa más importante es el corto circuito.

No importa cuanto cuidado se haya puesto en el diseño, en la selección de los materiales y el equipo que constituyen un sistema, es inevitable que durante la operación ocurra alguna falla que origine corrientes de corto circuito. Además, las probabilidades de que ocurran fallas aumenta con el transcurso del tiempo, debido principalmente al envejecimiento de los materiales.

Los dispositivos de protección tales como relevadores y fusibles tienen la función de aislar las fallas de una manera segura y eficiente además de facilitar la minimización del tiempo de interrupción de suministro de energía y de esta manera evitar que situaciones anormales de operación causen daños o pérdidas.

Por lo tanto, una protección contra corto circuito inadecuada es con frecuencia la causa de cuantiosos daños en las instalaciones y origina situaciones de grave riesgo para el personal que labora con el equipo eléctrico, además de ocasionar interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

Para la selección y el ajuste de las protecciones contra corto circuito se hace indispensable el conocimiento de las características del propio sistema y de los equipos conectados a éste. Esta información sirve para realizar estudios de corto circuito y de coordinación de protecciones y dichos estudios se deben realizar siempre que se diseñe una nueva instalación o se modifique una ya existente.

El desarrollo que en los últimos años se ha tenido, permite que día a día exista una especialización más profunda en todas las ramas de la ciencia y la tecnología. En la ingeniería eléctrica este desarrollo permite que se conozca mejor la naturaleza de los fenómenos eléctricos y la forma en que influyen en los sistemas eléctricos; gracias a esto se pueden lograr estudios más exactos y diseños mejores de los diferentes elementos que componen un sistema eléctrico.

En este caso, el análisis de estadísticas y experimentos han permitido crear métodos que nos ayudan a realizar estudios de corto circuito y de coordinación de protecciones. En el presente trabajo se describirá el método de la norma ANSI/IEEE 141 - 1993 que nos proporciona un procedimiento para realizar estudios de corto circuito, en el cual, mediante la aplicación de ciertas reglas y algunos factores de corrección, se obtiene un estimado de las corrientes de corto circuito que nos sirven para dimensionar y coordinar las protecciones del sistema.

Este trabajo tiene como objetivo la realización de un programa de cómputo que aplique la metodología de la norma ANSI/IEEE 141 - 1993 para el cálculo de corto circuito trifásico, partiendo de los datos básicos de los elementos que conforman el sistema.

En el primer capítulo se hace una revisión de los principios y herramientas necesarias para el cálculo de corto circuito. En el capítulo dos se analizan los diferentes tipos de corto circuito que se pueden presentar. En el capítulo número tres se describen los métodos más comúnmente utilizados para el cálculo de corto circuito. En el capítulo cuarto se presenta la norma ANSI/IEEE 141 -1993 y el programa de cómputo que la aplica para el cálculo de corto circuito trifásico, además se incluye un instructivo que nos describe el uso de el programa. En el capítulo cinco se resuelve un ejemplo con el método directo , por el método de Zbus y por ultimo se resuelve el mismo ejemplo con el programa de cómputo.

I.- ANTECEDENTES.

FUENTES DE CORTO CIRCUITO.

Las corrientes que fluyen durante una falla en un sistema eléctrico provienen de las máquinas eléctricas rotatorias que lo componen. Para una planta industrial se pueden dividir en cuatro categorías:

- Generadores síncronos.
- Motores y Condensadores síncronos,
- Máquinas de inducción.
- Sistemas de Suministro de Energía eléctrica.

Generadores síncronos.

Los generadores son movidos por turbinas, motores diesel y otro tipo de primotores. Cuando ocurre un corto circuito en las terminales de un generador síncrono, la corriente de corto circuito presenta al inicio una gran magnitud y decae hasta un valor estable después de haber transcurrido cierto tiempo desde el inicio del corto circuito. Como un generador síncrono continúa siendo movido por su primotor y tiene su campo excitado externamente, el valor en estado estable de la corriente de falla permanecerá a menos que sea interrumpida por algún elemento de desconexión.

Para representar esta característica, se emplea un circuito equivalente consistente en una fuente de voltaje constante conectada en serie con una reactancia que varía con el tiempo.

Para propósitos de cálculo de corriente de corto circuito, las normas industriales han establecido tres nombres específicos para los distintos valores que toma esta reactancia variable, los nombres son: *reactancia subtransitoria*, *reactancia transitoria* y *reactancia síncrona*.

X''_d = reactancia subtransitoria; determina la corriente durante el primer ciclo posterior a la ocurrencia de la falla. En aproximadamente 0.10 segundos, la reactancia se incrementa a:

X'_d = reactancia transitoria; permite determinar el valor de la corriente de corto circuito después de varios ciclos a 60 Hz. Entre 0.5 y 2 segundos la reactancia aumenta a:

X_d = reactancia sincrónica; este es el valor que determina la corriente una vez que la condición de estado estable es alcanzada.

Estos parámetros serán tratados con más detalle en la siguiente sección.

Motores y Condensadores síncronos.

Los motores síncronos están contruidos de igual manera que los generadores; tienen un campo excitado con corriente directa y un devanado en el estator por el cual fluye corriente alterna. Generalmente el motor toma la potencia de la línea y convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Cuando ocurre una falla, el voltaje del sistema disminuye considerablemente por lo que el motor recibe menos potencia del sistema para mover su carga. Al mismo tiempo, el voltaje interno del motor causa que una corriente fluya hacia el punto de falla del sistema. La inercia mecánica del motor y la carga conectada a éste actúan como un primotor y con el campo de excitación sostenido, el motor actúa como un generador que suministra corriente de falla. Esta corriente de falla disminuye conforme decae el campo magnético de la máquina.

La magnitud de la corriente de corto circuito depende de la potencia, voltaje nominal y reactancia del motor síncrono así como de la reactancia del sistema hasta el punto de falla.

Máquinas de Inducción.

La inercia de la carga y el rotor de un motor de inducción tienen exactamente el mismo efecto sobre el motor de inducción como en el motor síncrono; siguen moviendo al motor después de que ocurre un corto circuito en el sistema. La única diferencia radica en que el motor de inducción no tiene un campo excitado por corriente directa, pero existe un flujo en el motor durante la operación normal. Este flujo actúa en forma similar a el flujo producido por el campo de corriente directa en el motor síncrono.

El campo del motor de inducción se produce por inducción desde el estator en lugar del devanado de corriente directa.

El flujo del rotor permanece normal mientras se aplica voltaje al estator desde una fuente externa (el sistema eléctrico), sin embargo, si la fuente externa de voltaje se elimina súbitamente, esto es, cuando ocurre el corto circuito en el sistema, el flujo en el rotor no puede cambiar instantáneamente.

Debido a que el flujo del rotor no puede decaer instantáneamente y la inercia sigue moviendo al motor, se genera un voltaje en el devanado del estator causando una corriente de corto circuito que fluye hacia el punto de falla hasta que el flujo del rotor decae a cero.

La magnitud de la corriente de corto circuito producida por el motor de inducción depende de su potencia, voltaje nominal, reactancia del motor y la reactancia del sistema hasta el punto de falla. Consecuentemente, el valor inicial simétrico de la corriente de corto circuito es aproximadamente igual a la corriente de arranque a tensión plena del motor.

Sistema de la Compañía Suministradora.

Los modernos sistemas eléctricos de las compañías suministradoras, representan una grande y compleja red de plantas generadoras interconectadas.

Los generadores del sistema eléctrico están usualmente lejos de las zonas industriales por lo que la corriente de contribución a una falla en una planta remota representa simplemente un pequeño incremento en la corriente de carga de las grandes centrales generadoras, y esta contribución de corriente tiende a permanecer constante.

El sistema eléctrico es por lo tanto representado en el análisis de corto circuito por una impedancia equivalente de valor único referida al punto de conexión (punto de acometida).

Los generadores del sistema eléctrico están usualmente lejos de las zonas industriales por lo que la corriente de contribución a una falla en una planta remota representa simplemente un pequeño incremento en la corriente de carga de las grandes centrales generadoras, y esta contribución de corriente tiende a permanecer constante.

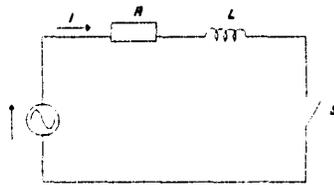
El sistema eléctrico es por lo tanto representado en el análisis de corto circuito por una impedancia equivalente de valor único referida al punto de conexión (punto de acometida).

SIMETRÍA Y ASIMETRÍA.

Transitorios en Circuitos Serie RL.

La selección de un interruptor en un sistema eléctrico, depende no sólo de la corriente que éste pueda soportar bajo condiciones normales de operación, sino también de la corriente máxima que pueda circular momentáneamente y de la corriente que deba interrumpir al voltaje nominal de la línea a la cual se encuentre conectado.

Con el objeto de determinar la corriente inicial que se presenta cuando un generador sincrónico es corto circuitado, consideraremos lo que ocurre cuando un voltaje de corriente alterna es aplicado a un circuito formado por una resistencia y una inductancia, ambas de valor constante.



El voltaje aplicado al circuito está definido por:

$$V_{má} \times \text{sen}(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

Donde t es igual a cero en el momento en que se aplica el voltaje; α determina la magnitud del voltaje cuando el interruptor se cierra. La ecuación diferencial asociada al circuito es la siguiente:

$$V_{má} \times \text{sen}(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

La solución a la ecuación es:

$$i = \frac{V_m \sin \alpha}{|Z|} \left[\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-\frac{Rt}{L}} \sin(\alpha - \theta) \right] \quad (3)$$

donde:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

El primer término de la ecuación 3 varía senoidalmente con respecto al tiempo; el segundo término no es periódico, decrece exponencialmente con la constante de tiempo L/R y se le conoce como *componente de corriente directa*.

El término senoidal es el valor en estado estable de la corriente en un circuito RL cuando se tiene un voltaje aplicado.

Si este término es distinto de cero cuando $t = 0$, la componente de corriente directa aparece en la solución para poder satisfacer la condición física de corriente cero en el instante en que se cierra el interruptor. Sin embargo, la componente de corriente directa no aparece si el interruptor se cierra en un instante tal que $\alpha - \theta = 0$ ó $\alpha - \theta = \pi/2$. La figura 1 muestra la variación de la corriente con respecto al tiempo conforme a la ecuación 3 cuando $\alpha - \theta = 0$.

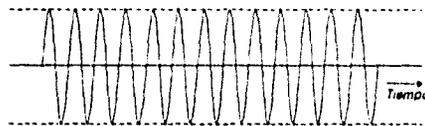


figura 1

Si el interruptor se cierra cuando la señal de voltaje tiene un valor tal que $\alpha - \theta = \pm \pi/2$, la componente de corriente directa tiene su máximo valor inicial, el cual es igual al valor máximo de la componente senoidal. La figura 2 muestra la variación de la corriente con respecto al tiempo conforme a la ecuación 3 cuando $\alpha - \theta = \pm \pi/2$. La componente de corriente directa puede tener cualquier valor entre 0 y $V_{m\acute{a}x} / Z$, dependiendo del valor instantáneo del voltaje cuando se cierra el interruptor y del factor de potencia del circuito.

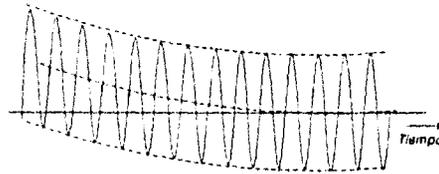


figura 2

En el instante de aplicar el voltaje, la componente de corriente directa y la de estado permanente siempre tienen la misma magnitud pero signo contrario con el objeto de expresar el valor de cero de la corriente existente.

La corriente que fluye cuando un generador sufre un corto circuito es similar a la que circula cuando un voltaje alterno se aplica súbitamente a una resistencia y una inductancia conectadas en serie. Sin embargo, existen diferencias substanciales debido a que la corriente en la armadura afecta directamente al campo rotatorio.

Una manera de analizar el efecto de un corto circuito trifásico en las terminales de un generador en vacío consiste en obtener un oscilograma de la corriente en una de las fases del mismo al ocurrir la falla. Debido a que los voltajes generados en las fases de una máquina eléctrica trifásica se encuentran defásados entre ellos, 120 grados eléctricos, el corto circuito ocurre en diferentes puntos de la onda de voltaje correspondiente a cada fase. Por este motivo, la componente de corriente directa para cada una de las fases es distinta.

Si el interruptor se cierra cuando la señal de voltaje tiene un valor tal que $\alpha - \theta = \pm \pi/2$, la componente de corriente directa tiene su máximo valor inicial, el cual es igual al valor máximo de la componente senoidal. La figura 2 muestra la variación de la corriente con respecto al tiempo conforme a la ecuación 3 cuando $\alpha - \theta = \pm \pi/2$. La componente de corriente directa puede tener cualquier valor entre 0 y $V_{m\acute{a}x} / Z$, dependiendo del valor instantáneo del voltaje cuando se cierra el interruptor y del factor de potencia del circuito.

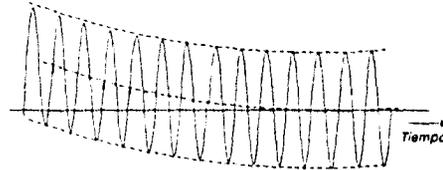


figura 2

En el instante de aplicar el voltaje, la componente de corriente directa y la de estado permanente siempre tienen la misma magnitud pero signo contrario con el objeto de expresar el valor de cero de la corriente existente.

La corriente que fluye cuando un generador sufre un corto circuito es similar a la que circula cuando un voltaje alterno se aplica súbitamente a una resistencia y una inductancia conectadas en serie. Sin embargo, existen diferencias substanciales debido a que la corriente en la armadura afecta directamente al campo rotatorio.

Una manera de analizar el efecto de un corto circuito trifásico en las terminales de un generador en vacío consiste en obtener un oscilograma de la corriente en una de las fases del mismo al ocurrir la falla. Debido a que los voltajes generados en las fases de una máquina eléctrica trifásica se encuentran defasados entre ellos, 120 grados eléctricos, el corto circuito ocurre en diferentes puntos de la onda de voltaje correspondiente a cada fase. Por este motivo, la componente de corriente directa para cada una de las fases es distinta.

Si la componente de corriente directa se elimina de la señal de corriente de cada una de las fases, la variación de ésta con respecto al tiempo queda tal y como se muestra en la figura 3.

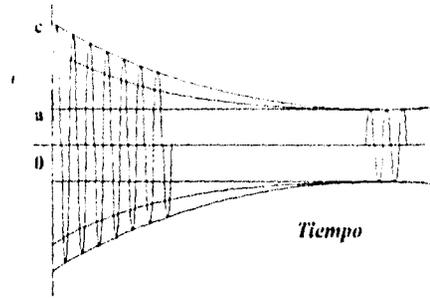


figura 3

Observando las figuras 1 y 3 se pueden ver las diferencias que resultan de aplicar un voltaje a un circuito RL y a una máquina síncrona cortocircuitada. En una máquina síncrona el flujo a través del entrehierro es mucho mayor al momento de ocurrir el corto circuito de lo que es unos ciclos después de haber ocurrido éste. La reducción en el flujo es causada por la fuerza magnetomotriz de la corriente de armadura.

Cuando ocurre un corto circuito en las terminales de una máquina síncrona se necesita tiempo para que se reduzca el flujo a través del entrehierro. Conforme el flujo disminuye, la corriente de armadura también decrece por que el voltaje generado por el flujo en el entrehierro es quien determina la corriente que fluirá a través de la resistencia y la reactancia de fuga del devanado de la armadura.

Relación entre la corriente de corto circuito y las reactancia de las máquinas síncronas.

De la gráfica de la figura 3 se obtienen ciertos términos que son de utilidad para el cálculo de corrientes de corto circuito en un sistema eléctrico de potencia. En la figura 3 la distancia oa representa el valor máximo de la corriente sostenida de corto circuito.

Este valor de corriente, multiplicado por $1/\sqrt{2}$ resulta ser el valor rms $|I|$ de la corriente de corto circuito sostenida o de estado estacionario. Al voltaje $|E_g|$ de un alternador sin carga, dividido por la corriente de corto circuito en estado permanente $|I|$ se le conoce como *reactancia sincrónica* y se denota como X_d .

Si la envolvente de la onda de corriente se extiende hasta $t = 0$ y los primeros ciclos en los que la corriente decae con mayor rapidez son ignorados, se tiene el punto de intersección *ob*. Al valor rms de la corriente representada por esta intersección se le conoce como *corriente transitoria* $|I'|$. A partir de la corriente transitoria, se define la *reactancia transitoria* X'_d como $|E_g| / |I'|$ para un alternador trabajando sin carga antes de que ocurra la falla. Si el rápido decremento inicial que experimenta la señal de corriente es ignorado, el punto de intersección de la envolvente con el eje correspondiente a $t = 0$ está determinado por la distancia *oc*. Al valor rms de esta corriente se le conoce como *corriente subtransitoria* $|I''|$. En la figura 3, la corriente subtransitoria corresponde a la ordenada *oc*. A la corriente subtransitoria también se le conoce como *corriente simétrica rms inicial*, este término resulta ser más descriptivo pues expresa la idea de eliminar la componente de corriente directa y tomar el valor rms de la componente de ac de la corriente inmediatamente después de la ocurrencia de la falla. La *reactancia subtransitoria* X''_d para un alternador operando sin carga antes de la ocurrencia de una falla trifásica en sus terminales está definida como $|E_g| / |I''|$.

Las corrientes y las reactancias discutidas en el párrafo anterior están definidas por las siguientes ecuaciones, las cuales se aplican a un alternador operando sin carga antes de que ocurra una falla trifásica en sus terminales:

$$|I| = \frac{oa}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d} \quad (4)$$

$$|I'| = \frac{ob}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X'_d} \quad (5)$$

$$|I''| = \frac{oc}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X''_d} \quad (6)$$

donde:

$|I|$ = Corriente rms en estado estacionario.

$|I'|$ = Corriente rms transitoria, excluyendo la componente de directa.

$|I''|$ = Corriente rms subtransitoria, excluyendo la componente de directa.

X_d = Reactancia síncrona.

X'_d = Reactancia transitoria.

X''_d = Reactancia subtransitoria.

$|E_g|$ = Voltaje rms sin carga, de línea a neutro.

oa, ob, oc = Puntos de intersección mostrados en la figura 3.

Al momento de efectuar operaciones, las corrientes transitoria, subtransitoria y en estado estacionario deben expresarse como fasores, teniendo como referencia E_g .

La corriente subtransitoria $|I''|$ es mucho mayor que la corriente en estado estacionario $|I|$ debido a que la disminución en el flujo producido por la corriente de armadura, que circula a través del entrehierro, no ocurre de manera inmediata. En consecuencia, se induce un voltaje mayor en los devanados de la armadura justo después de ocurrida la falla en comparación con el voltaje existente cuando se alcanza el estado estacionario. Con objeto de considerar esta diferencia en el voltaje, se utilizan distintas

reactancias conectadas en serie con E_g para determinar las reactancias transitoria, subtransitoria y en estado estacionario.

Las ecuaciones 4 a 6 permiten determinar la corriente de falla en un generador cuando se conocen sus reactancias. Si el generador se encuentra descargado al momento de ocurrir la falla, la máquina es representada por el voltaje al neutro sin carga en serie con su propia reactancia. La resistencia de los devanados debe ser considerada si se desea mayor exactitud en los cálculos. En caso de que exista una impedancia externa al generador entre sus terminales y el corto circuito, deberá ser incluida en el circuito equivalente.

Voltajes internos de una máquina con carga en condiciones transitorias.

La discusión anterior trató sobre un generador síncrono sin carga al momento de ocurrir una falla trifásica en sus terminales. Ahora consideraremos a un generador con carga al momento de la falla.

La figura 4 muestra el circuito equivalente de un generador conectado a una carga trifásica balanceada; el circuito equivalente propio del generador síncrono está constituido por el voltaje sin carga E_g y su reactancia síncrona X_s . La impedancia externa se muestra entre las terminales del generador y el punto P , lugar donde ocurre la falla. La corriente que circula por el punto P antes de la falla se denota como I_L , el voltaje en el punto de falla es V_f y el voltaje en las terminales del generador es V_t .

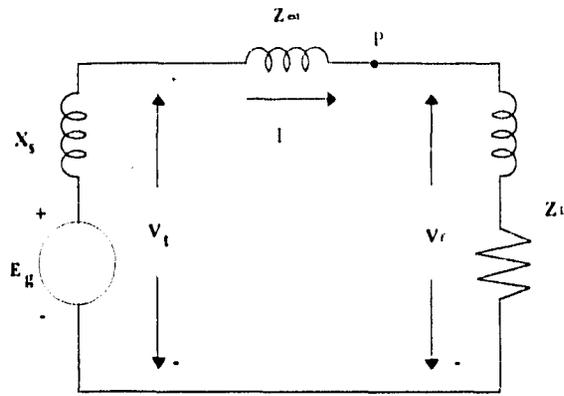


figura 4

En caso de que ocurra una falla trifásica en el punto P , observamos que el circuito resultante no satisface las condiciones necesarias para calcular la corriente subtransitoria I'' debido a que la reactancia del generador debe ser X''_d en lugar de X_s , lo mismo sucede si se quiere calcular la corriente transitoria I' debido a que el circuito no cuenta con la reactancia transitoria X'_d . Debido a lo anterior el circuito de la figura 4 debe modificarse tal como se muestra en la figura 5.

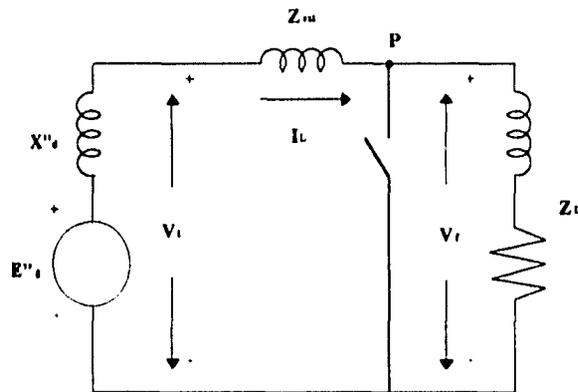


figura 5

En este nuevo circuito, el voltaje E''_g conectado en serie con la reactancia X''_d es el responsable de proporcionar la corriente en estado estacionario I_L cuando el interruptor S está abierto, así como proveer la corriente de corto circuito a través de X''_d y Z_{ext} cuando el interruptor S está cerrado. El objetivo es poder determinar el valor de E''_g debido a que la corriente que circule por X''_d será la corriente subtransitoria I'' . De la figura 5 podemos observar que cuando el interruptor S está abierto tenemos:

$$E''_g = V_t + jI_L X''_d \quad (7)$$

La ecuación 7 permite definir E''_g denominado *voltaje interno subtransitorio*. De la misma manera, la corriente transitoria I' debe ser proporcionada a través de la reactancia transitoria X'_d por el *voltaje interno transitorio* E'_g , tal como lo marca la siguiente ecuación.

$$E'_g = V_t + jI_L X'_d \quad (8)$$

Los voltajes E''_g y E'_g están determinados por I_L y ambos son iguales al voltaje sin carga E_g únicamente cuando I_L es igual a cero lo cual sucede únicamente si $E_g = V_t$.

Es importante mencionar que el voltaje E''_g conectado en serie con la reactancia X''_d conforman el circuito equivalente del generador antes de que ocurra la falla e inmediatamente después de que ésta suceda únicamente si la corriente de prefalla en el generador es I_L . Por otro lado, E_g en serie con la reactancia sincrónica X_s representa el circuito equivalente de una máquina sincrónica en estado estacionario bajo cualquier condición de carga.

Los motores síncronos tienen reactancias del mismo tipo de los generadores. Cuando un motor es corto circuitado deja de recibir energía eléctrica de la línea de alimentación, sin embargo continúa girando por un periodo indefinido debido a la inercia mecánica del rotor y a que su campo magnético permanece energizado. El voltaje interno de un motor síncrono es el responsable de que el motor aporte corriente hacia el sistema actuando como generador. Los voltajes internos subtransitorio y transitorio de un motor están definidos por las siguientes ecuaciones:

$$E_m^* = V_t - jI_L X^*d \quad (9)$$

$$E_m' = V_t - jI_L X'd \quad (10)$$

ÁLGEBRA MATRICIAL.

Definición.

Una matriz se define como un arreglo rectangular de elementos, colocados de manera sistemática con "m" renglones y "n" columnas. Estos elementos pueden ser números reales o complejos y se utiliza una notación con doble subíndice a_{ij} para su identificación.

El primer subíndice i indica el renglón donde se localiza el elemento y el subíndice j indica la columna, dando así una localización única a cada elemento.

Una matriz se indica con una letra mayúscula encerrada entre paréntesis rectangulares $[A]$.

El concepto de matriz, sin embargo, puede generalizarse al caso en que los elementos sean polinomios, funciones, operadores o cualquier otro tipo de "ente matemático"; conservando su validez la mayoría de los conceptos y propiedades presentados en esta sección, en la cual se considera a la matriz como un arreglo de números.

Orden de una Matriz.

Una matriz que tiene "m" renglones y "n" columnas se dice que es una matriz de orden "m x n":

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Una matriz con un solo renglón o una sola columna se conoce con el nombre de *vector*. Un vector columna es una matriz de orden $m \times 1$, un vector renglón es una matriz de orden $1 \times n$.

TIPOS DE MATRICES.

Matriz Cuadrada.

Es aquella matriz $A_{m \times n}$ que tiene igual número de renglones y de columnas; esto es, $m=n$ y su orden será igual al número de renglones (o de columnas).

En una matriz cuadrada se pueden distinguir tres regiones:

- 1) *Diagonal Principal*. La diagonal principal de una matriz $A_n = [a_{ij}]$ es el conjunto de elementos a_{ij} tales que $i=j$.
- 2) El *Triángulo Superior* de $A_n = [a_{ij}]$ es el conjunto de elementos a_{ij} tales que $i < j$.
- 3) El *Triángulo Inferior* de $A_n = [a_{ij}]$ es el conjunto de elementos a_{ij} tales que $i > j$.

Matriz Triangular Superior.

Es aquella matriz A_n cuyos elementos de la triangular inferior valen todos cero. A_n es triangular superior si y solo si $a_{ij} = 0$ para toda $i > j$.

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix}$$

Matriz Triangular Inferior.

Es aquella matriz A_n cuyos elementos situados arriba de la diagonal principal son cero. A_n es triangular inferior si y solo si $a_{ij} = 0$ para toda $i < j$.

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

Matriz Diagonal.

Es aquella matriz A_n tal que es triangular superior e inferior al mismo tiempo, es decir, $a_{ij} = 0$ para toda $i \neq j$.

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix}$$

Matriz Transpuesta.

Sea $A = [a_{ij}]$ una matriz de $m \times n$; se llama transpuesta de A a la matriz de $n \times m$ $A^T = [c_{ij}]$ tal que $c_{ij} = a_{ji}$.

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$$
$$[A]^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \\ a_{13} & a_{23} \end{bmatrix}$$

Matriz Simétrica.

Cuando la matriz transpuesta de una matriz original es dicha matriz original:

$$A^T = A.$$

Matriz Identidad.

Se llama matriz identidad de orden n a la matriz cuadrada de orden n $I_n = [\delta_{ij}]$, tal que: $\delta_{ij} = 1$, si $i = j$ y $\delta_{ij} = 0$, si $i \neq j$.

Al símbolo δ_{ij} de la definición anterior se le conoce como "*delta de Kroenecker*".

La matriz identidad juega un papel muy importante en el álgebra de matrices, ya que constituye un elemento idéntico para la multiplicación.

OPERACIONES CON MATRICES.**Adición.**

La adición de las matrices A_n y B_n , se define como la matriz C_n tal que $[c_{ij}] = [a_{ij} + b_{ij}]$, para toda ij . Es necesario que A_n y B_n sean del mismo orden siendo entonces, conformables con respecto a la adición.

Propiedades de la Adición:

- a) Asociatividad: $A_n + (B_n + C_n) = (A_n + B_n) + C_n$.
- b) Conmutatividad: $A_n + B_n = B_n + A_n$.
- c) Elemento neutro: $A_n + A_0 = A_n$; A_0 debe establecerse con el mismo orden que A_n .

Sustracción.

La sustracción de las matrices A_n y B_n , se define como la matriz C_n tal que $[c_{ij}] = [a_{ij} - b_{ij}]$, para toda ij . Es necesario que A_n y B_n sean del mismo orden siendo entonces, conformables con respecto a la sustracción.

Propiedades de la Sustracción:

- a) $-A_0 = A_0$.
- b) $A_n + (-A_n) = A_0$.
- c) $-(-A_n) = A_n$.
- d) $-(A_n + B_n) = -A_n - B_n$.

Multiplicación:

Sean $A = [a_{ij}]$ y $B = [b_{ij}]$ dos matrices de órdenes $m \times n$ y $n \times p$ respectivamente; el producto AB es una matriz $P = [p_{ij}]$, de orden $m \times p$ definida por:

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} ; \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ y } j = 1, \dots, p$$

DETERMINANTE.

El determinante es un valor perteneciente a los números reales, asociado a una matriz cuadrada; la definición formal se presenta a continuación:

Las permutaciones de los elementos de un conjunto (finito) son las diferentes maneras en que éstos pueden ser arreglados:

Definición: una permutación del conjunto $S = \{1, 2, \dots, n\}$ es un arreglo de la forma:

$$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$$

donde α_i pertenece a S para toda i y $\alpha_i \neq \alpha_j$ si $i \neq j$.

El conjunto $S = \{1, 2, \dots, n\}$ tiene $n!$ permutaciones diferentes.

Una permutación $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ tiene m inversiones si existen m parejas (α_i, α_j) tales que $i < j$ y $\alpha_i > \alpha_j$.

Una permutación es de clase par si tiene un número par de inversiones; en caso contrario se dice que es de clase impar.

Determinante: sea $A = [a_{ij}]$ una matriz de $n \times n$ y sea $P_k = (\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \dots, \alpha_{kn})$ una permutación del conjunto $\{1, 2, \dots, n\}$. Se llama determinante de A al número:

$$\det A = \sum_{k=1}^{n!} \varepsilon(P_k) \prod_{i=1}^n a_{i\alpha_{ki}}$$

$$\text{donde } \varepsilon(P_k) = \begin{cases} +, & \text{si } P_k \text{ es de clase par} \\ -, & \text{si } P_k \text{ es de clase impar} \end{cases}$$

Otra manera de calcular el determinante asociado a una Matriz Cuadrada es multiplicando cada elemento de un renglón o columna cualquiera por su correspondiente *cofactor*.

Cofactor: el cofactor del elemento $a_{ij} = C_{ij} = (-1)^{i+j} M_{ij}$.

M_{ij} : se le conoce como *Menor del elemento a_{ij}* , es el determinante que queda al eliminar el renglón i , y la columna j .

MATRIZ INVERSA.

La matriz inversa de A_n , simbolizada por A^I o por A^{-1} queda definida en la siguiente expresión:

$$A^I \text{ es la inversa de } A_n \text{ si y sólo si } A^I \cdot A_n = A_n \cdot A^I = I_n.$$

Si una matriz no tiene inversa se dice que es *singular* o *regular*; si una matriz tiene inversa, se dice que es *no singular* o *no regular*.

Matriz de cofactores: llamada también Matriz Adjunta, es la que se obtiene al reemplazar cada elemento de la matriz por su correspondiente cofactor, precedido según el signo que le corresponda de acuerdo con la expresión $(-1)^{i+j}$.

La matriz de cofactores correspondiente a la matriz A_n se designa como αA .

Procedimiento para calcular A^{-1} .

- 1) Dada A_n obtener $\det(A_n)$.
- 2) Si $\det(A_n) = 0$ entonces A^{-1} no existe; si $\det(A_n) \neq 0$ continuar con el punto 3.
- 3) Obtener A^T .
- 4) Determinar la matriz de cofactores de $A^T = \alpha A^T$.
- 5) Calcular A^{-1} empleando la siguiente expresión:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} \cdot \alpha A^T$$

SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES.

Se dice que existe un sistema de ecuaciones lineales cuando varias ecuaciones de este tipo tienen solución o soluciones comunes. Un mismo conjunto solución sirve para todas las ecuaciones.

Hay también sistemas equivalentes cuando la solución de un sistema es al mismo tiempo solución de otro sistema.

Para la formación de sistemas equivalentes se necesita:

- 1) Intercambiar las ecuaciones.
- 2) Multiplicar y/o dividir ambos miembros de una o de todas las ecuaciones por un número real distinto de cero.
- 3) Sustituir una de las ecuaciones por la suma de dos de ellas.

Sistemas Matriciales de Resolución de Sistemas Lineales.

Un sistema de ecuaciones lineales se puede representar con una matriz; tenemos:

$$\left. \begin{array}{l} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \end{array} \right\} \text{Puede representarse como: } \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} \left. \right\} A \times X = K$$

Transformaciones.

- a) *Intercambio*: intercambiar los renglones a y b se denota como I_{ab} .
- b) *Multiplicación*: consiste en multiplicar los elementos de un renglón por una constante real. Si el renglón a es multiplicado por el número real α , la operación se denota como $M_{a,\alpha}$.
- c) *Adición*: radica en la suma de los elementos de un renglón con los correspondientes de otro. Si los renglones a sumar son a y b , la adición se denota como $S_{j,3}$.

Método de Gauss.

Especifica que dado un sistema de ecuaciones lineales hay que realizar las transformaciones necesarias para transformar la matriz original en una triangular o unitaria con objeto de obtener la solución.

Rango de una Matriz.

Corresponde al número de renglones linealmente independientes. Dos renglones son linealmente independientes si **no** pueden ser expresados como combinación lineal de otros renglones de la matriz.

Dos ecuaciones son **independientes** cuando **no** puede expresarse ninguna como combinación lineal de la otra.

Resolución de un sistema lineal mediante la Matriz Inversa.

Tenemos que:

$$(A \times X = K) A^{-1} = X = A^{-1}K$$

Procedimiento para calcular $A^{-1}K$:

- 1) Obtener la matriz de coeficientes A .
- 2) Comprobar que $\det(A) \neq 0$.
- 3) Obtener la matriz transpuesta de $A = A^T$.
- 4) Obtener la matriz de cofactores de la transpuesta = αA^T .
- 5) Obtener la matriz inversa empleando:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} \cdot \alpha A^T$$

6) Aplicar la expresión:

$$X = A^{-1}K$$

Resolución de un sistema de Ecuaciones Lineales mediante Determinante.

Un tercer método para resolver sistemas lineales es el de Cramer, basado en Determinantes.

Se necesita que el sistema tenga tantas ecuaciones como incógnitas y que sea un sistema heterogéneo, es decir, todos los términos independientes deben ser distintos de cero.

Cada incógnita es igual a un quebrado cuyo denominador es el determinante de la matriz de los coeficientes de las incógnitas y cuyo numerador es ese mismo determinante, donde se ha reemplazado la columna correspondiente a la incógnita por la columna de términos independientes.

Las expresiones A , X y K tienen el mismo significado que en el método precedente; se supone la matriz A ordenada con respecto a x, y, z, \dots incógnitas.

$$x = \frac{\begin{vmatrix} k_1 & a_{12} & a_{13} & \vdots & a_{1n} \\ k_2 & a_{22} & a_{23} & \vdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_n & a_{n2} & a_{n3} & \vdots & a_{nn} \end{vmatrix}}{|A|} ; y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & k_{12} & a_{13} & \vdots & a_{1n} \\ a_2 & k_{22} & a_{23} & \vdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_n & k_{n2} & a_{n3} & \vdots & a_{nn} \end{vmatrix}}{|A|} ; z = \dots$$

SISTEMAS EN POR UNIDAD

Los cálculos a efectuar en un sistema de potencia que tiene dos o más niveles de voltaje se complican cuando es necesario convertir corrientes de un nivel de voltaje a otro.

Con el objeto de simplificar estos cálculos se propone un sistema alternativo para cada valor de voltaje, este sistema se basa en seleccionar un conjunto de valores de referencia o valores base y en expresar cada parámetro eléctrico como una fracción decimal de dichos valores base. Es importante mencionar que los valores base de voltaje, en todo el sistema, deben ser afectados por las relaciones de transformación correspondientes para lograr consistencia en los voltaje del sistema eléctrico.

La ecuación general para obtener el valor en por unidad (pu) de cualquier cantidad es:

$$\text{Cantidad en por unidad} = \frac{\text{Cantidad cualquiera}}{\text{Cantidad base}}$$

Para poder definir un sistema eléctrico se requieren cuatro cantidades base: potencia (S), voltaje (V), corriente (I) e impedancia (Z) o admitancia (Y).

$$S_b = \text{Potencia base} \quad [VA]$$

$$V_b = \text{Voltaje base} \quad [V]$$

$$I_b = \text{Corriente base} \quad [A]$$

$$Z_b = \text{Impedancia base} \quad [\Omega]$$

$$Y_b = \text{Admitancia base} \quad [1/\Omega]$$

Debido a la relación entre estos parámetros eléctricos sólo es necesario definir dos de ellos, quedando los otros determinados automáticamente. Normalmente se definen la

Potencia base y el Voltaje base, calculando a partir de ellos la Corriente base y la Impedancia base (o Admitancia base). Las ecuaciones a emplear en sistemas trifásicos son las siguientes:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} \quad Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{V_B^2}{S_B}$$

donde:

$$S_B = S_{3\phi}$$

$$V_B = V_{LL}$$

Una vez calculados los valores base se determinan los valores en por unidad de la siguiente manera:

$$Potencia_{pu} = \frac{Potencia}{Potencia\ base} [pu]$$

$$Voltaje_{pu} = \frac{Voltaje}{Voltaje\ base} [pu]$$

$$Corriente_{pu} = \frac{Corriente}{Corriente\ base} [pu]$$

$$Impedancia_{pu} = \frac{Impedancia}{Impedancia\ base} [pu]$$

$$Admitancia_{pu} = \frac{Admitancia}{Admitancia\ base} [pu]$$

Cambio de base.

Cuando algún elemento del sistema tiene expresada su impedancia en por unidad (Z_{pu1}), y sus cantidades base (S_{pu1} , V_{pu1}) son diferentes a las que se están manejando (S_{pu2} , V_{pu2}), es necesario hacer un cambio de bases y de esta manera obtener la impedancia de este

elemento expresada en por unidad referida a las nuevas bases (Z_{pu2}). El cambio de bases se realiza aplicando la siguiente expresión:

$$Z_{pu2} = \left(\frac{V_{B1}}{V_{B2}} \right)^2 \cdot \left(\frac{V_{AB2}}{V_{AB1}} \right) Z_{pu1}$$

Cuando es necesario conocer el valor de alguno de los parámetros en sus propias unidades partiendo de su expresión en por unidad, sólo se tiene que multiplicar dicho valor por su cantidad base, así pues:

$$(S_{pu}) \cdot (S_B) = S [VA]$$

$$(V_{pu}) \cdot (V_B) = V [V]$$

$$(I_{pu}) \cdot (I_B) = I [A]$$

$$(Z_{pu}) \cdot (Z_B) = Z [\Omega]$$

$$(Y_{pu}) \cdot (Y_B) = Y [1/\Omega]$$

COMPONENTES SIMÉTRICAS

Las componentes simétricas son un método matemático que permite simplificar el análisis de corto circuito incluyendo tanto las fallas simétricas como las asimétricas. Este método se basa en la descomposición de un sistema de fasores desequilibrados (*fig. 1*) en tres sistemas de fasores cuyos componentes tienen la misma magnitud entre sí: uno de secuencia positiva (rotación de fase en sentido contrario a las manecillas del reloj), otro de secuencia negativa (rotación de fase en el mismo sentido de las manecillas del reloj) y un tercero de secuencia cero donde todos sus componentes se encuentran en fase. A estos tres conjuntos de componentes simétricas se les denomina *componentes de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero*.

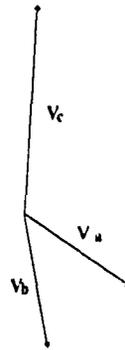
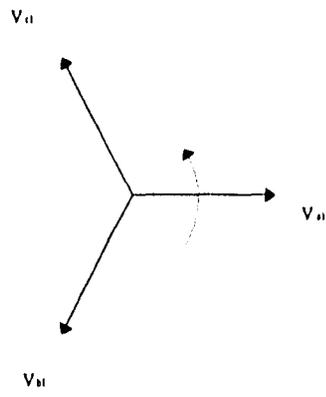
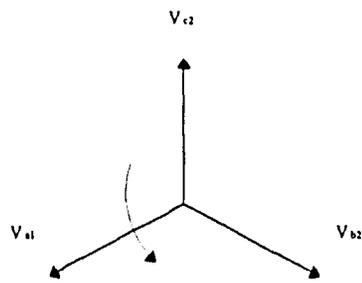


figura 1

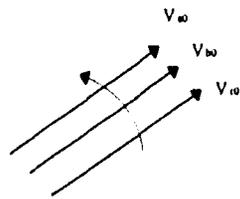
Las componentes de secuencia positiva se designan con el subíndice 1, las de secuencia negativa con el subíndice 2 y las de secuencia cero con el subíndice 0. Estas componentes de secuencia se representan geoméricamente tal como se indica en la *fig. 2*:



Sistema de Secuencia Positiva



Sistema de Secuencia Negativa



Sistema de Secuencia Cero

figura 2

De esta manera cualquier sistema desequilibrado se puede dividir en sus componentes simétricas como se muestra en la *figura 3*.

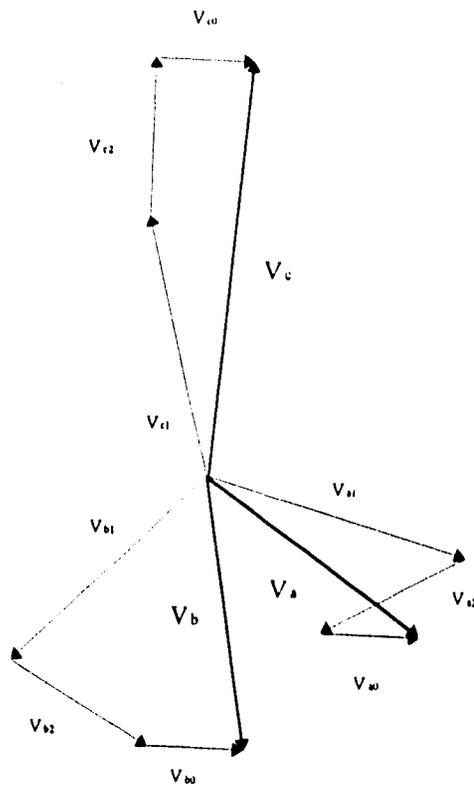


figura 3

Matemáticamente tenemos:

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (1)$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \quad (2)$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \quad (3)$$

OPERADOR a .

El operador a se define como un fásor de magnitud unitaria, ángulo de 120° y de secuencia positiva, es decir, que gira en sentido contrario a las manecillas del reloj.

$$a = 1 \angle 120^\circ = 1 \cdot e^{j120^\circ} = -0.5 + j0.866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = 1 \cdot e^{j240^\circ} = -0.5 - j0.866 = a^*$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \cdot e^{j360^\circ} = 1 \angle 0^\circ$$

Las principales relaciones a utilizar con el operador a son:

	Forma Polar	Forma Rectangular
a	$1 \angle 120^\circ$	$-0.5 + j 0.866$
a^2	$1 \angle 240^\circ$	$-0.5 - j 0.866$
a^3	$1 \angle 0^\circ$	$1.0 + j 0$
a^4	$1 \angle 120^\circ$	$-0.5 + j 0.866$
$1 + a = -a^2$	$1 \angle 60^\circ$	$0.5 + j 0.866$
$1 + a^2 = -a$	$1 \angle -60^\circ$	$0.5 - j 0.866$
$1 - a$	$\sqrt{3} \angle -30^\circ$	$1.5 - j 0.866$
$1 - a^2$	$\sqrt{3} \angle 30^\circ$	$1.5 + j 0.866$
$a - 1$	$\sqrt{3} \angle 150^\circ$	$-1.5 + j 0.866$
$a^2 - 1$	$\sqrt{3} \angle -150^\circ$	$-1.5 - j 0.866$
$a - a^2$	$\sqrt{3} \angle 90^\circ$	$0.0 + j 1.732$
$a^2 - a$	$\sqrt{3} \angle -90^\circ$	$0.0 - j 1.732$
$a + a^2$	$1 \angle 180^\circ$	$-1.0 + j 0$
$1 + a + a^2$	0	0

OPERADOR a .

El operador a se define como un fasor de magnitud unitaria, ángulo de 120° y de secuencia positiva, es decir, que gira en sentido contrario a las manecillas del reloj.

$$a = 1 \angle 120^\circ = 1 \cdot e^{j120^\circ} = -0.5 + j0.866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = 1 \cdot e^{j240^\circ} = -0.5 - j0.866 = a^*$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \cdot e^{j360^\circ} = 1 \angle 0^\circ$$

Las principales relaciones a utilizar con el operador a son:

	Forma Polar	Forma Rectangular
a	$1 \angle 120^\circ$	$-0.5 + j0.866$
a^2	$1 \angle 240^\circ$	$-0.5 - j0.866$
a^3	$1 \angle 0^\circ$	$1.0 + j0$
a^4	$1 \angle 120^\circ$	$-0.5 + j0.866$
$1 + a = -a^2$	$1 \angle 60^\circ$	$0.5 + j0.866$
$1 + a^2 = -a$	$1 \angle -60^\circ$	$0.5 - j0.866$
$1 - a$	$\sqrt{3} \angle -30^\circ$	$1.5 - j0.866$
$1 - a^2$	$\sqrt{3} \angle 30^\circ$	$1.5 + j0.866$
$a - 1$	$\sqrt{3} \angle 150^\circ$	$-1.5 + j0.866$
$a^2 - 1$	$\sqrt{3} \angle -150^\circ$	$-1.5 - j0.866$
$a - a^2$	$\sqrt{3} \angle 90^\circ$	$0.0 + j1.732$
$a^2 - a$	$\sqrt{3} \angle -90^\circ$	$0.0 - j1.732$
$a + a^2$	$1 \angle 180^\circ$	$-1.0 + j0$
$1 + a + a^2$	0	0

Aplicación del operador a a las componentes simétricas.

$$\begin{aligned}V_{b1} &= a^2 \cdot V_{a1} \\V_{c1} &= a \cdot V_{a1} \\V_{b2} &= a \cdot V_{a2} \\V_{c2} &= a^2 \cdot V_{a2} \\V_{a0} &= V_{b0} = V_{c0}\end{aligned}$$

Aplicando el operador a a las ecuaciones 1 a 3:

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (4)$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \quad (5)$$

$$V_c = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \quad (6)$$

Sumando estas ecuaciones obtenemos:

$$V_a + V_b + V_c = V_{a1}(1+a+a^2) + V_{a2}(1+a+a^2) + 3V_{a0}$$

$$\text{como } 1+a+a^2=0$$

$$\text{entonces } V_{a0} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$$

Multiplicando la ecuación 5 por a y la ecuación 6 por a^2 :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$aV_b = V_{a1} + a^2 V_{a2} + aV_{a0}$$

$$a^2 V_c = V_{a1} + aV_{a2} + a^2 V_{a0}$$

sumando:

$$V_a + aV_b + a^2V_c = 3V_{a1} + V_{a2}(1 + a + a^2) + V_{a0}(1 + a + a^2)$$

como $1 + a + a^2 = 0$

$$\text{entonces } V_{a1} = \frac{V_a + aV_b + a^2V_c}{3}$$

Multiplicando la ecuación 5 por a^2 y la ecuación 6 por a :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$a^2V_b = aV_{a1} + V_{a2} + a^2aV_{a0}$$

$$aV_c = a^2V_{a1} + V_{a2} + aV_{a0}$$

sumando:

$$V_a + a^2V_b + aV_c = V_{a1}(1 + a + a^2) + 3V_{a2} + V_{a0}(1 + a + a^2)$$

como $1 + a + a^2 = 0$

$$\text{entonces } V_{a2} = \frac{V_a + a^2V_b + aV_c}{3}$$

Procediendo similarmente con las corrientes obtenemos:

$$I_{a0} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \quad (7)$$

$$I_{a1} = \frac{I_a + aI_b + a^2I_c}{3} \quad (8)$$

$$I_{a2} = \frac{I_a + a^2I_b + aI_c}{3} \quad (9)$$

Definiendo la matriz A como:

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix}$$

matricialmente tenemos:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad [I_{abc}] = [A][I_{120}]$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad [I_{012}] = \frac{1}{3}[A]^{-1}[I_{abc}]$$

Corriente en el Neutro.

En un sistema trifásico con neutro aterrizado, la corriente que circula por este es:

$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

sustituyendo I_n en la ecuación 1.2.7 tenemos:

$$I_{a0} = \frac{I_n}{3}$$

finalmente:

$$I_n = 3I_{a0}$$

esta expresión nos permite determinar la corriente de corto circuito que circula por el neutro.

IMPEDANCIAS Y REDES DE SECUENCIA

El paso de una corriente de cierta secuencia, en un punto de un sistema produce una caída de voltaje de la misma secuencia. A la impedancia a la corriente de secuencia positiva se le conoce también como impedancia de secuencia positiva, de la misma manera las impedancias a las corrientes de secuencia negativa y cero se les conoce como impedancias de secuencia negativa y cero respectivamente.

Como se explicó en componentes simétricas, cualquier corriente en un circuito trifásico puede ser representada por tres corrientes de secuencia. Ahora bien, ya que las impedancias de una secuencia producen una caída de voltaje de la misma secuencia al paso de una corriente, también de la misma secuencia, podemos dibujar redes de impedancias para cada una de las secuencias y posteriormente interconectar estas redes de acuerdo con el tipo de falla que se va a analizar.

Así pues, a la red compuesta de impedancias de secuencia positiva se le nombra red de secuencia positiva y de la misma forma ocurre con las redes de secuencia negativa y cero.

La finalidad de las redes de secuencia es conocer los caminos que pueden tomar las corrientes de cada secuencia dentro del sistema. Entonces, si estamos estudiando una falla a tierra, son necesarias las tres redes de secuencia, pero si se trata de una falla que no involucra tierra, solo será necesaria la red de secuencia positiva y, dependiendo del caso, tal vez la red de secuencia negativa (falla de línea a línea).

En las tres redes el bus de referencia representa el neutro del generador aunque en la red de secuencia cero no signifique forzosamente un mismo potencial. Estas redes se pueden dibujar como circuitos completos o como diagrama unifilar.

En la redes de secuencia positiva se deben de incluir todas las impedancias de secuencia positiva así como todos los voltajes de línea a tierra de los generadores y si existe conexión, con o sin impedancia, del neutro de las máquinas a tierra, ésta no se incluye dentro de la red ya que por ahí no existe flujo de corriente de secuencia positiva.

La red de secuencia negativa es prácticamente igual a la red de secuencia positiva con la diferencia de que en ésta no se incluyen los voltajes de los generadores y los valores de las impedancias son los de secuencia negativa.

La red de secuencia cero tampoco incluye los voltajes de los generadores y se forma con las impedancias de secuencia cero, así como de todos los caminos que pueda tener la corriente de secuencia cero.

Las principales consideraciones que se deben tomar en cuenta al elaborar las redes de las tres secuencias son:

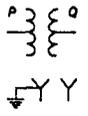
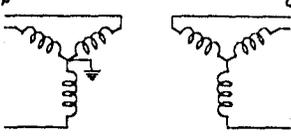
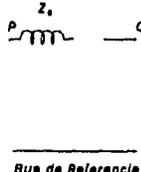
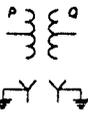
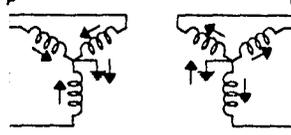
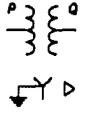
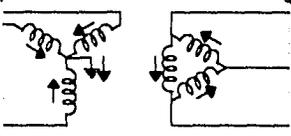
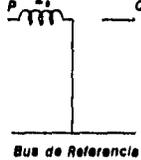
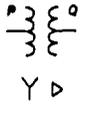
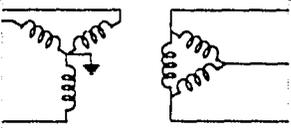
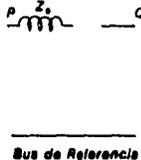
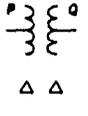
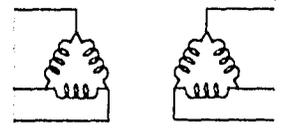
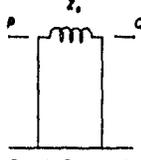
- 1) En las máquinas rotatorias, las impedancias subtransitoria, transitoria y permanente son de secuencia positiva y se usan según el tipo de análisis que se este realizando.
- 2) Si existe una impedancia entre el neutro y tierra en alguna máquina (Z_n), esta sólo se toma en cuenta en la red de secuencia cero y se considera con un valor de $3Z_n$ debido a que por ella circula una corriente $3I_0$.
- 3) En las líneas de transmisión la impedancias de secuencias positiva y negativa son iguales y la impedancia de secuencia cero depende del retorno de la corriente de secuencia cero (ya sea por tierra o por el hilo de guarda) y de su posición ya que esto define la forma en que actúan los campos magnéticos. Para líneas aéreas el valor de reactancia de secuencia cero es de 2 a 3.5 veces mayor que la reactancia de secuencia positiva. Entonces al incluir las impedancias de secuencia cero de líneas de transmisión se deben de tomar en cuenta,

además de la impedancia de secuencia cero, los valores de impedancia del suelo o del hilo de guarda según sea el caso.

- 4) En los transformadores las impedancias de secuencia positiva, negativa y cero son iguales salvo en el caso de los transformadores tipo acorazado donde la impedancia de secuencia cero es diferente.
- 5) En un transformador conectado en estrella no aterrizada, no hay camino a tierra, por lo tanto no puede haber corriente de secuencia cero por lo que la impedancia de secuencia cero es infinita y se indica en la red de secuencia cero como un circuito abierto.
- 6) En una conexión estrella de un transformador con conexión de neutro a tierra a través de una impedancia (Z_n) y se indica con la impedancia cero del transformador (Z_0) en serie con tres veces la impedancia del neutro ($Z_0 + 3Z_n$).
- 7) En una conexión delta de un transformador la corriente de secuencia cero no tiene camino a tierra y queda atrapada en el circuito de la delta por lo que se representa en la red de secuencia cero como un circuito abierto con la impedancia del transformador conectada de forma independiente con el bus de referencia.

Las combinaciones, por el tipo de conexión en sus devanados, que se pueden dar en un transformador y la forma en que se deben de conectar en la red de secuencia cero, se muestran en el cuadro anexo.

Si en el circuito que se este analizando existen transformadores sin conexión a tierra, tendremos varias redes dentro de la red de secuencia cero, y al hacer los cálculos sólo se debe de tomar en cuenta si existe o no retorno de la corriente de secuencia cero.

Símbolo	Diagrama de conexión	Circuito equivalente de secuencia cero
		 <p style="text-align: center;">Bus de Referencia</p>
		 <p style="text-align: center;">Bus de Referencia</p>
		 <p style="text-align: center;">Bus de Referencia</p>
		 <p style="text-align: center;">Bus de Referencia</p>
		 <p style="text-align: center;">Bus de Referencia</p>

II.- CORTO CIRCUITO.

FALLAS ASIMÉTRICAS.

La mayoría de las fallas que se presentan en los sistemas eléctricos de potencia son asimétricas, éstas pueden consistir en: cortos circuitos asimétricos, fallas asimétricas a través de impedancias o en conductores abiertos. Las fallas asimétricas se manifiestan como: fallas monofásicas, bifásicas o bifásicas a tierra. La corriente que se produce en las fallas monofásicas y bifásicas puede en algunos casos fluir a través de una impedancia. En el caso de que uno o dos conductores se encuentren abiertos se tiene una falla asimétrica, que se puede manifestar a través del punto de ruptura de los conductores o de la operación de fusibles y otros dispositivos que no abran las tres fases simultáneamente.

Debido a que toda falla asimétrica genera un flujo de corrientes desbalanceadas a través del sistema, el método de las componentes simétricas resulta de gran utilidad en la determinación de las corrientes y los voltajes de todo el sistema una vez que ocurre la falla.

En este capítulo discutiremos las fallas asimétricas que se presentan en los sistemas eléctricos de potencia aplicando el Teorema de Thevenin, que nos permite encontrar la corriente en el punto de falla reemplazando el sistema completo por un generador y una impedancia en serie.

Fallas Asimétricas en Sistemas Eléctricos de Potencia.

En la determinación de las ecuaciones para las componentes simétricas de las corrientes y los voltajes de una red eléctrica general durante una falla, se designarán como I_a , I_b e I_c a las corrientes, en el punto de falla del sistema balanceado original, provenientes de las fases a , b , c respectivamente. En la figura 1 se muestran las corrientes I_a , I_b e I_c ; esta figura nos muestra las tres líneas que componen al sistema trifásico en el punto en que

ocurre la falla. El flujo de corriente de cada línea hacia la falla está indicado por las flechas ubicadas al lado de unas varillas hipotéticas conectadas a cada línea en el punto de falla.

Los voltajes de línea a tierra en el punto de falla serán designados como V_a , V_b y V_c . Antes de que ocurra la falla, el voltaje de línea a neutro de la fase a en el punto de falla se denotará como V_f ; este voltaje es de secuencia positiva pues se supone que el sistema se encuentra balanceado.

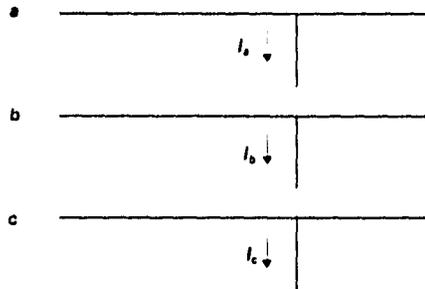


figura 1

En la figura 2 se muestra el diagrama unifilar de un sistema eléctrico de potencia formado por tres máquinas sincronas. Este sistema es lo suficientemente general como para permitirnos aplicar las ecuaciones que de él se derivan a cualquier sistema balanceado independientemente de su complejidad. La figura 2 también nos muestra las redes de secuencia del sistema. El punto donde se supone ocurre la falla se denota con la letra P tanto en el diagrama unifilar como en las redes de secuencia.

Debido a la linealidad adjudicada a las redes de secuencia, cada una puede ser reemplazada por su Equivalente de Thevenin entre el bus de referencia y el punto de ocurrencia de la falla. El Circuito Equivalente de Thevenin para cada red de secuencia se muestra junto con su diagrama unifilar correspondiente. La impedancia Z_f del circuito equivalente es la impedancia medida entre el punto P y el bus de referencia de la red de secuencia positiva teniendo todas las fuerzas electromotrices corto circuitadas.

Como no existen corrientes de secuencia negativa ni de secuencia cero antes de que ocurra la falla, el voltaje antes de la falla entre el punto P y el bus de referencia es cero en estas dos redes de secuencia. Por lo tanto, ninguna fuerza electromotriz aparecerá en los circuitos equivalentes para las redes de secuencia negativa y secuencia cero. Las impedancias Z_2 y Z_0 se miden entre el punto P y el bus de referencia de sus respectivas redes y dependen de la ubicación de la falla.

Ya que I_a es la corriente que fluye del sistema hacia la falla, sus componentes simétricas I_{a1} , I_{a2} e I_{a0} , salen de sus respectivas redes de secuencia y de sus circuitos equivalentes hacia el punto P , tal como se muestra en la figura 2.

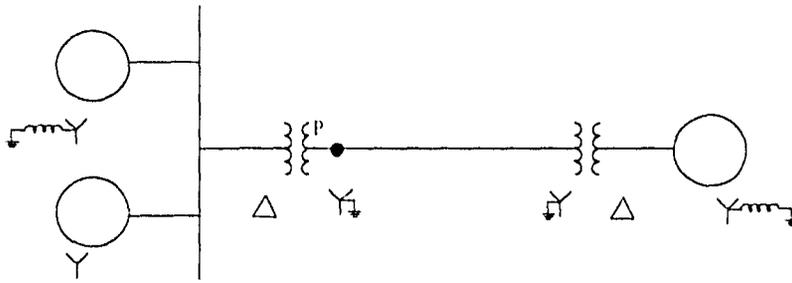
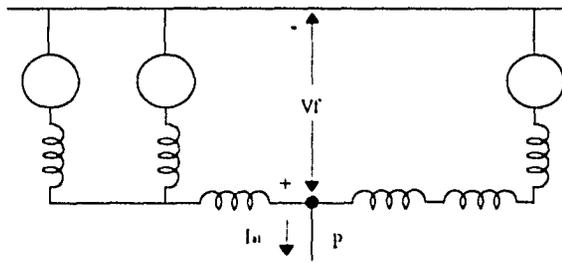
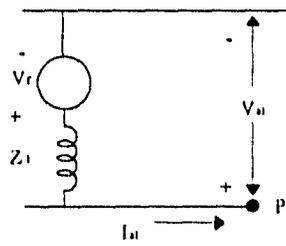


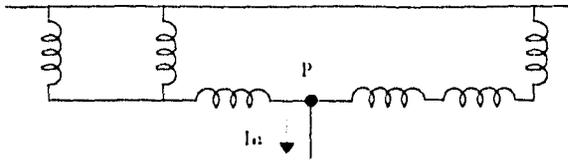
Diagrama Unifilar de un Sistema Trifásico Balanceado alimentado por tres máquinas sincronas.



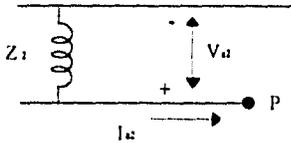
Red de Secuencia Positiva.



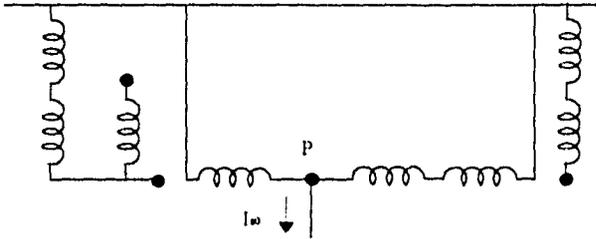
Equivalente de Thevenin de la Red de Secuencia Positiva



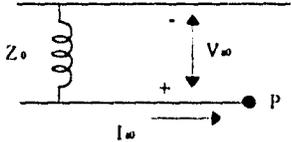
Red de Secuencia Negativa.



Equivalente de Thevenin de la Red de Secuencia Negativa.



Red de Secuencia Cero.



Equivalente de Thevenin de la Red de Secuencia Cero

figura 2

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, la matriz que permite determinar las componentes simétricas del voltaje en el punto de falla, queda de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Corto Circuito Monofásico en un Sistema Eléctrico de Potencia.

La figura 3 muestra la situación en que se encuentran las tres líneas que conforman un sistema eléctrico de potencia al presentarse una falla monofásica.

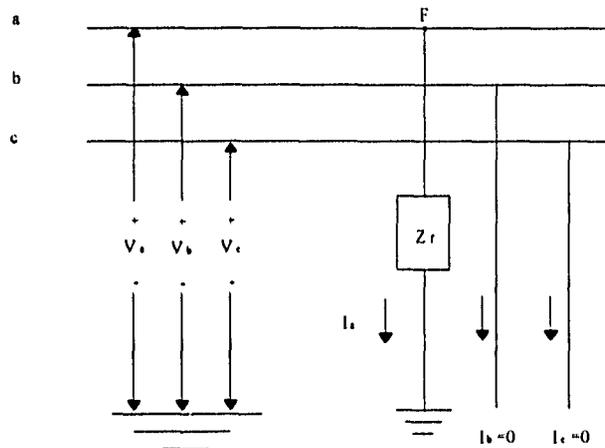


figura 3

Por inspección obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$I_b = I_c = 0 \quad (2)$$

$$V_a = Z_f I_a \quad (3)$$

Aplicando las ecuaciones anteriores, las componentes simétricas de la corriente son:

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\therefore I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{I_a}{3} \quad (5)$$

De acuerdo con las ecuaciones 3 y 5:

$$\begin{aligned} V_a &= Z_f I_a \\ I_a &= 3I_{a1} \\ V_a &= 3Z_f I_{a1} = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \end{aligned} \quad (6)$$

Sustituyendo I_{a1} en la ecuación 1.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{a1} \\ I_{a1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = -I_{a1} Z_0 + V_f - I_{a1} Z_1 - I_{a1} Z_2$$

$$3Z_f I_{a1} = -I_{a1} Z_0 + V_f - I_{a1} Z_1 - I_{a1} Z_2$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (8)$$

La ecuación 5 indica que las tres corrientes de secuencia son iguales por lo que las redes de secuencia deben estar conectadas en serie; la ecuación 6 indica que la suma de los voltajes de secuencia es $3Z_f I_{a1}$ (únicamente cuando la corriente de falla circula a través de una impedancia limitadora), esto requiere añadir una impedancia externa $3Z_f$ al circuito.

La figura 3 muestra la conexión de las redes de secuencia durante una falla monofásica.

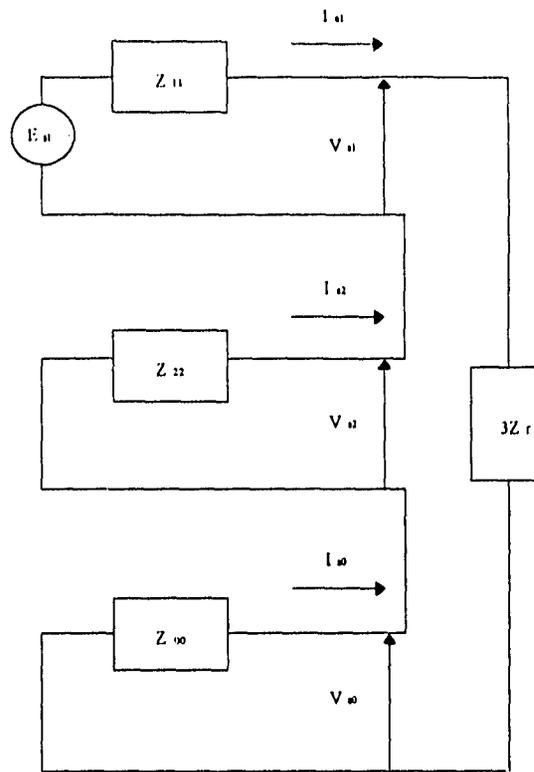


figura 4

Corto Circuito Bifásico en un Sistema Eléctrico de Potencia.

La figura 4 muestra el estado en que se encuentran las tres fases de un sistema eléctrico cuando dos de éstas se corto circuitan a través de una impedancia.

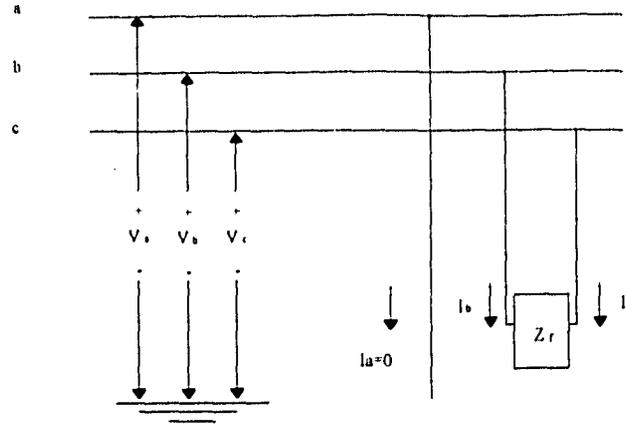


figura 5

Por inspección de la figura:

$$I_a = 0 \quad (9)$$

$$I_b = -I_c \quad (10)$$

$$V_b - V_c = I_b Z_f \quad (11)$$

Sustituyendo las ecuaciones 5 y 6 en 10 tenemos:

$$V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} = Z_f (I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}) + V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2}$$

$$(a^2 - a) V_{a1} = (a^2 - a) Z_f I_{a1} + (a^2 - a) V_{a2}$$

$$V_{a1} = Z_f I_{a1} + V_{a2} \quad (12)$$

Sustituyendo las ecuaciones 9 a 12 en la ecuación 1 tenemos:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ V_{a1} - Z_f I_{a1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{a1} \\ -I_{a1} \end{bmatrix}$$

$$[1 \quad 1 \quad -1] \begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ V_{a1} - Z_f I_{a1} \end{bmatrix} = [1 \quad 1 \quad -1] \begin{bmatrix} 0 \\ V_f - Z_1 I_{a1} \\ Z_2 I_{a1} \end{bmatrix}$$

$$V_{a1} - V_{a1} + Z_f I_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} - Z_2 I_{a1}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

De las ecuaciones 9 y 10 vemos que la corriente de secuencia cero es igual a cero y que las corrientes de secuencia positiva y negativa son iguales pero de sentido contrario; de la ecuación 11 vemos que el voltaje de secuencia positiva V_{a1} es igual a la suma de los voltajes de secuencia positiva V_{a2} y del producto de la corriente de secuencia positiva por la impedancia Z_f .

La figura 5 muestra la conexión de las redes de secuencia durante una falla bifásica.

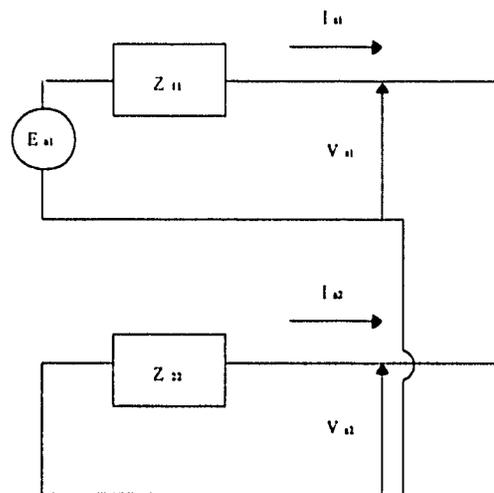


figura 6

Corto Circuito Trifásico en un Sistema Eléctrico de Potencia.

La figura 7 muestra representa una falla trifásica poniendo en corto circuito las tres fases de un sistema eléctrico.

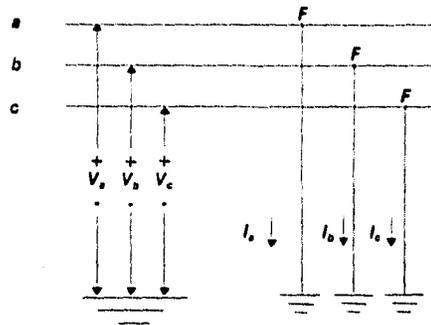


figura 7

En este caso la falla no provoca ningún desequilibrio en el sistema trifásico y por lo tanto no existen corriente ni voltajes de secuencia negativa ni de secuencia cero, independientemente de que la falla trifásica este conectad a tierra o no. Todas las cantidades que intervienen en el cálculo son de secuencia positiva.

Por inspección de la figura 7, en el punto de falla se tiene que:

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad I_b = a^2 I_a \quad I_c = a I_a$$

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

Las ecuaciones que definen el comportamiento del circuito trifásico en función de las componentes simétricas son las siguientes:

$$\begin{aligned} E_{a1} - V_{a1} &= Z_{11} I_{a1} \\ -V_{a2} &= Z_{22} I_{a2} = 0 \\ -V_{a0} &= Z_{00} I_{a0} = 0 \end{aligned}$$

En el punto de falla se tienen las siguientes relaciones entre las cantidades de fase y sus componentes simétricas:

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3}(I_a + a^3I_a + a^3I_a) = I_a \\ V_{a1} &= \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = 0 \end{aligned}$$

Las condiciones establecidas por la falla trifásica se satisfacen conectando el circuito de secuencia positiva tal y como se muestra en la figura 10.

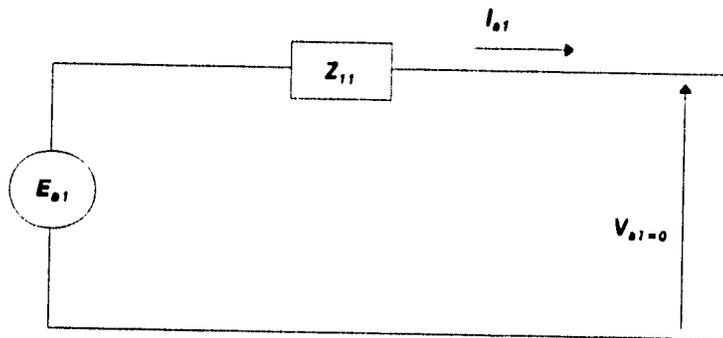


figura 10

III.- MÉTODOS DE CÁLCULO.

MÉTODOS DE CÁLCULO

Existen varios métodos para el cálculo de corrientes de corto circuito, cada uno recomendado para ciertas condiciones especiales, como pueden ser los datos proporcionados del sistema, la complejidad de éste o su tamaño. En este caso vamos a considerar cuatro métodos de cálculo:

1.- Método Directo; recomendado para los casos donde se facilite o se desee utilizar los valores expresados en por unidad o cuando los valores de los elementos están expresados en Volts, Amperes y Ohms directamente.

2.- Método de los MVA's; su uso se recomienda para los casos en que no se tenga que considerar los valores de resistencia dentro del cálculo.

3.- Método Z_{bus} ; este método es el más complejo, pero para sistemas grandes o donde deseemos un análisis más completo, es recomendable su aplicación. Su metodología nos permite aplicarlo también en programas de cómputo.

Antes de iniciar con el cálculo de potencia y corriente de corto circuito, es necesario contar con un diagrama unifilar del sistema a analizar, así como de todos los valores de impedancia de los diferentes elementos que compongan el sistema.

El diagrama unifilar debe contener todas las fuentes de corto circuito y además los elementos más importantes del sistema. Así también, este diagrama unifilar debe tener incluidos los valores originales de impedancia y los valores ya convertidos a la forma en que convenga al método de cálculo.

En algunas ocasiones es conveniente preparar un diagrama separado con los valores ya convertidos, y en el caso en que se sigan manejando impedancias, se pueden manejar diagramas separados de reactancias y resistencias.

Cuando el diagrama unifilar con los valores originales no contenga valores de impedancia, se pueden obtener con las relaciones anexas al final del capítulo:

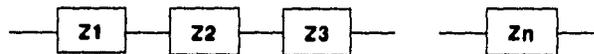
Método Directo.

Cuando se vayan a utilizar valores en por unidad, el primer paso, es seleccionar los valores base para potencia y voltaje y se convertirán todas las impedancias a valores en por unidad de acuerdo con estas bases.

El segundo paso consiste en combinar impedancias hasta obtener una impedancia equivalente en el punto de falla.

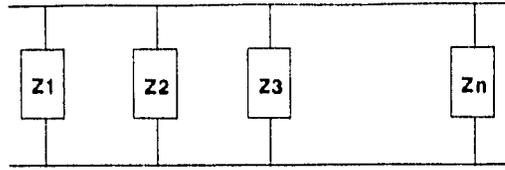
Las relaciones aplicables son:

a) Reducción de impedancias en serie



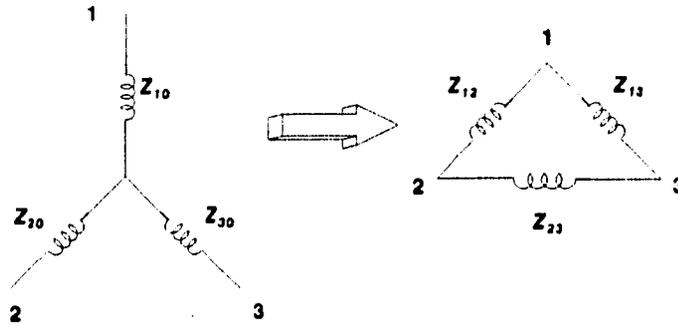
$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n$$

b) Reducción de impedancias en paralelo



$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n}$$

c) Transformación de estrella a delta

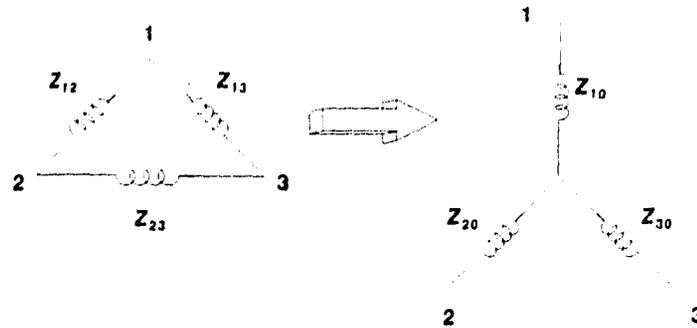


$$Z_{12} = \frac{Z_{10}Z_{20} + Z_{10}Z_{30} + Z_{20}Z_{30}}{Z_{30}} = \frac{Z_{10}Z_{20}}{Z_{30}} + Z_{10} + Z_{20}$$

$$Z_{13} = \frac{Z_{10}Z_{20} + Z_{10}Z_{30} + Z_{20}Z_{30}}{Z_{20}} = \frac{Z_{10}Z_{30}}{Z_{20}} + Z_{10} + Z_{30}$$

$$Z_{23} = \frac{Z_{10}Z_{20} + Z_{10}Z_{30} + Z_{20}Z_{30}}{Z_{10}} = \frac{Z_{20}Z_{30}}{Z_{10}} + Z_{20} + Z_{30}$$

d) Transformación de delta a estrella

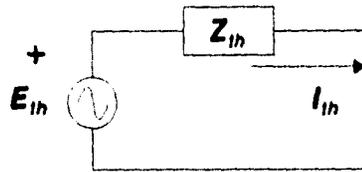


$$Z_{10} = \frac{Z_{12}Z_{13}}{Z_{23} + Z_{12} + Z_{13}}$$

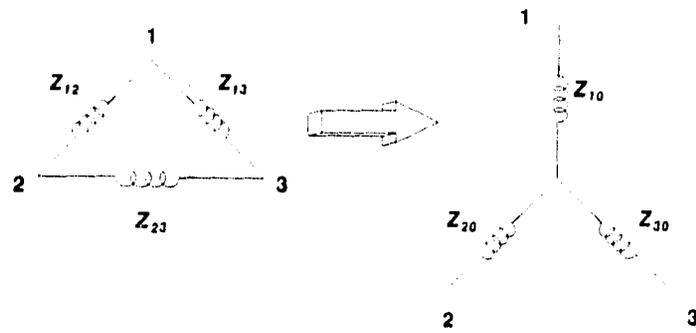
$$Z_{20} = \frac{Z_{23}Z_{12}}{Z_{23} + Z_{12} + Z_{13}}$$

$$Z_{30} = \frac{Z_{23}Z_{13}}{Z_{23} + Z_{12} + Z_{13}}$$

Al obtener la impedancia equivalente en el punto de falla estamos obteniendo la impedancia de Thevenin. Gráficamente tenemos:



d) Transformación de delta a estrella

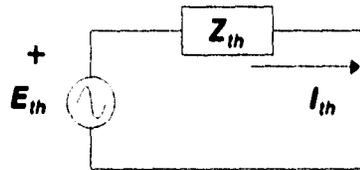


$$Z_{10} = \frac{Z_{12}Z_{13}}{Z_{23} + Z_{12} + Z_{13}}$$

$$Z_{20} = \frac{Z_{23}Z_{12}}{Z_{23} + Z_{12} + Z_{13}}$$

$$Z_{30} = \frac{Z_{23}Z_{13}}{Z_{23} + Z_{12} + Z_{13}}$$

Al obtener la impedancia equivalente en el punto de falla estamos obteniendo la impedancia de Thevenin. Gráficamente tenemos:



donde:

$$\begin{aligned} E_{th} &= E_{pu} \\ I_{th} &= I_{pu} \\ Z_{th} &= Z_{pu} \end{aligned}$$

El tercer paso es la obtención de la potencia y la corriente de corto circuito en por unidad:

$$\begin{aligned} I_{CCpu} &= \frac{E_{pu}}{Z_{pu}} \\ P_{CCpu} &= \frac{E_{pu}^2}{Z_{pu}} P_{base} \end{aligned}$$

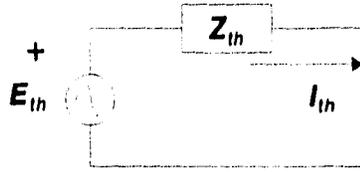
donde E_{pu} es el voltaje de línea a neutro en el punto de falla expresado en por unidad, y Z_{pu} es la impedancia equivalente en el punto de falla expresada en por unidad.

Para conocer la magnitud de la corriente de corto circuito en amperes aplicamos:

$$I_{CC} = I_{CCpu} I_{base}$$

Cuando se vayan a manejar los elementos expresados en volts, amperes y ohms, el primer paso es la reducción de todas la impedancias a una sola impedancia equivalente o impedancia de Thevenin. Contrariamente al caso en que se utilizan valores en por unidad, hay que tomar en cuenta las relaciones de transformación para poder llevar a cabo las reducciones.

Gráficamente llegamos a:



En el segundo paso obtenemos la potencia y la corriente de corto circuito aplicando las expresiones:

$$I_{cc} = \frac{E_{th}}{Z_{th}}$$

$$P_{cc} = \frac{E_{th}^2}{Z_{th}}$$

donde E_{th} es el voltaje de línea a neutro en el punto de falla expresado en Volts, y

Z_{th} es la impedancia equivalente en el punto de falla expresada en Ohms

Método de los MVA's

El primer paso en este método consiste en convertir los valores de impedancia en valores de potencia de corto circuito (MVA_{CC}) pudiéndose presentar los siguientes casos:

a) reactancias expresadas en %:

$$MVA_{cc} = \frac{MVA_{equipo} \times 100}{X_{equipo}}$$

b) reactancias expresadas en por unidad:

$$MVA_{cc} = \frac{MVA_{equipo}}{MVA_{pu-equipo}}$$

c) reactancias expresadas en Ohms (cables):

$$MVA_{cc} = \frac{KV^2}{X_{ohms}}$$

donde KV es el voltaje de línea a línea expresada en [kV].

Como segundo paso se genera el diagrama unifilar expresando los valores de MVA's de cada elemento dentro de un rectángulo o círculo.

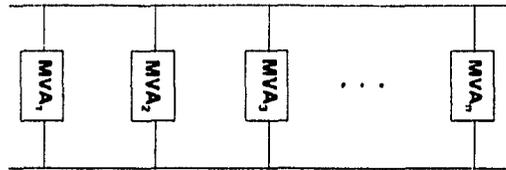
El tercer paso es combinar los valores de MVA's hasta llegar a un valor equivalente en el punto de análisis. Las relaciones a observar para llevar a cabo esta reducción son:

a) Reducción de MVA's en serie:



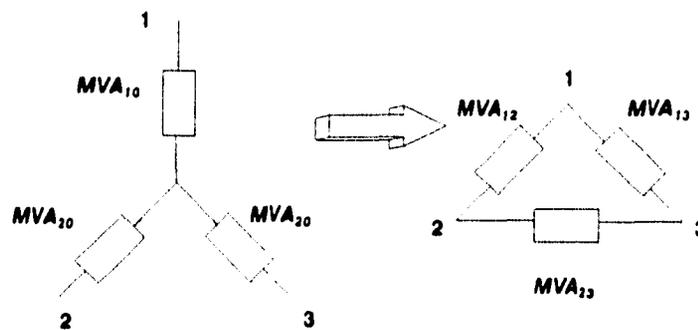
$$\frac{1}{MVA_{eq}} = \frac{1}{MVA_1} + \frac{1}{MVA_2} + \frac{1}{MVA_3} + \dots + \frac{1}{MVA_n}$$

b) Reducción de MVA's en paralelo:



$$MVA_{eq} = MVA_1 + MVA_2 + MVA_3 + \dots + MVA_n$$

c) Transformación de estrella a delta

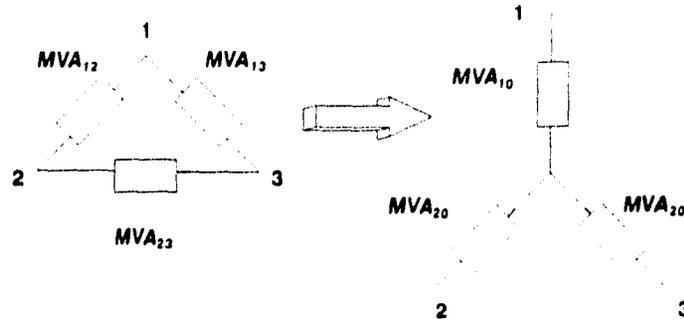


$$MVA_{12} = \frac{MVA_{10}MVA_{20}}{MVA_{10} + MVA_{20} + MVA_{30}}$$

$$MVA_{13} = \frac{MVA_{10}MVA_{30}}{MVA_{10} + MVA_{20} + MVA_{30}}$$

$$MVA_{23} = \frac{MVA_{20}MVA_{30}}{MVA_{10} + MVA_{20} + MVA_{30}}$$

d) Transformación de delta a estrella



$$MVA_{10} = \frac{MVA_{12}MVA_{13} + MVA_{13}MVA_{23} + MVA_{12}MVA_{23}}{MVA_{23}} = \frac{MVA_{12}MVA_{13}}{MVA_{23}} + MVA_{13} + MVA_{12}$$

$$MVA_{20} = \frac{MVA_{12}MVA_{13} + MVA_{13}MVA_{23} + MVA_{12}MVA_{23}}{MVA_{12}} = \frac{MVA_{12}MVA_{23}}{MVA_{13}} + MVA_{12} + MVA_{23}$$

$$MVA_{30} = \frac{MVA_{12}MVA_{13} + MVA_{13}MVA_{23} + MVA_{12}MVA_{23}}{MVA_{13}} = \frac{MVA_{13}MVA_{23}}{MVA_{12}} + MVA_{13} + MVA_{23}$$

El cuarto paso de este método es el cálculo de la corriente de corto circuito a partir de los MVA_{eq} obtenidos en el paso anterior. Así pues, I_{CC} es:

$$I_{cc} = \frac{MVA_{cc} \times 1000}{\sqrt{3} \times KV}$$

donde: $MVA_{cc} = MVA_{eq}$

KV = Voltaje de línea a línea en el punto de falla expresado en [kV].

Método Z_{bus}

El primer paso de este método consiste en calcular las admitancias, en por unidad, de cada una de las ramas de la red de secuencia positiva. Esta admitancia es calculada a partir de las impedancias de secuencia positiva.

$$Y_{ij} = \frac{1}{Z_{ij}}$$

donde Z_{ij} es la impedancia equivalente entre los buses j e i (sin buses intermedios).

El segundo paso es formar la matriz de admitancias de secuencia positiva (Y_{bus}). Esta matriz es de orden $n \times n$ donde n es el número de buses en la red.

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix}$$

donde Y_{ii} (en la diagonal principal) es la admitancia equivalente en el bus i . O es también la suma de todas las admitancias conectadas al nodo i .

Una vez obtenida la matriz Y_{bus} el tercer paso es obtener la matriz Z_{bus} :

$$Z_{bus} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nn} \end{pmatrix}$$

El tercer paso es el cálculo de la corriente de corto circuito trifásico. En el bus k tenemos:

$$I_{kk} = \frac{V_k}{Z_{kk}}$$

donde V_k es el voltaje, en por unidad, en el bus k antes de la falla.

El paso cinco es el cálculo de los voltajes en el sistema durante una falla en el bus k , puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$V_n = V_{pn} - \frac{Z_{nk}}{Z_{kk}} = V_{pn} - Z_{nk} \cdot I_k$$

donde V_{pn} es el voltaje, en por unidad, en el bus n antes de la falla en el bus k .

El último paso es el cálculo de las corrientes en el sistema cuando ocurre la falla.

Así pues, si queremos conocer las corrientes en el sistema cuando ocurre la falla en el bus k , tenemos:

$$I_{ij} = \frac{V_i - V_j}{\zeta_{ij}} = Y_{ij}(V_i - V_j) = \frac{Z_{ik} - Z_{jk}}{\zeta_{ij} \cdot Z_{kk}}$$

donde V_i es el voltaje en el bus i cuando ocurre la falla en el bus k .

V_j es el voltaje en el bus j cuando ocurre la falla en el bus k .

ζ_{ij} es la impedancia primitiva de la línea por donde circula la corriente I_{ij} .

Y_{ij} es la admitancia de la línea por donde circula la corriente I_{ij} .

CÁLCULO DE IMPEDANCIAS EN POR UNIDAD.**1.- Aportación de cortocircuito del sistema.**

$$Z_{pu} = \left(\frac{MVA_B}{MVA_{cc}} \right) \cdot \left(\frac{KV_{cc}}{KV_B} \right)^2$$

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

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

donde:

MVA_B	Potencia base [MVA]
MVA_{CC}	Potencia de cortocircuito de la contribución [MVA]
KV_B	Voltaje nominal en la falla [KV]
X/R	Valor de la relación X/R

2.- Transformador de dos devanados.

$$Z_{pu} = Z_{T_{pu}} \cdot \left(\frac{MVA_B}{MVA_T} \right) \cdot \left(\frac{KV_T}{KV_B} \right)^2$$

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

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

donde:

$Z_{T_{pu}}$	Impedancia del transformador [pu]
MVA_B	Potencia base [MVA]
MVA_T	Potencia nominal del transformador [MVA]
KV_B	Voltaje base [KV]
KV_T	Voltaje nominal del transformador [KV]
X/R	Valor de la relación X/R

para datos típicos multiplicar la Z_{pu} por 0.925.

3.- Motores de inducción.

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{I_{RB}} \right) \left[\left(\frac{KV_{AB} \cdot FP \cdot Efic}{0.746 HP} \right) \right] \left(\frac{KV_M}{KV_B} \right)^2$$

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

donde:

<i>HP</i>	Potencia del motor [HP]
<i>Efic</i>	Eficiencia del motor [pu]
<i>FP</i>	Factor de potencia del motor [pu]
<i>I_{RB}</i>	Corriente de rotor bloqueado del motor [pu]
<i>KV_M</i>	Voltaje nominal del motor [KV]
<i>KV_B</i>	Voltaje base [KV]
<i>KV_{AB}</i>	Potencia base [KVA]
<i>X/R</i>	Valor de la relación X/R

4.- Motores sincros.

$$X_{pu} = X''_d \left[\left(\frac{KV_{AB} \cdot FP \cdot Efic}{0.746 HP} \right) \right] \left(\frac{KV_M}{KV_B} \right)^2$$

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

donde:

<i>HP</i>	Potencia del motor [HP]
<i>Efic</i>	Eficiencia del motor [pu]
<i>FP</i>	Factor de potencia del motor [pu]
<i>X''_d</i>	Corriente de rotor bloqueado del motor [pu]
<i>KV_M</i>	Voltaje nominal del motor [KV]
<i>KV_B</i>	Voltaje base [KV]
<i>KV_{AB}</i>	Potencia base [KVA]
<i>X/R</i>	Valor de la relación X/R

5.- Cables.

$$X_B = 0.052917 \log_{10} D - 0.057107$$

$$X_{pu} = (X_A + X_B) \left(\frac{FT}{1000} \right) \left(\frac{MVA_B}{KV_B^2} \right) \left(\frac{X_{MG}}{X_{NMG}} \right) \left(\frac{3}{NUC} \right)$$

$$R_{pu} = R \left(\frac{FT}{1000} \right) \left(\frac{MVA_B}{KV_B^2} \right) \left(\frac{K + GD}{K + GR} \right) \left(\frac{3}{NUC} \right)$$

donde:

X_B	Factor de corrección por espaciamento en $\Omega/\text{cond}/1000$ pies a 60Hz.
D	Espaciamento equivalente en delta del alimentador en pulgadas.
X_A	Reactancia del alimentador a un pie de espaciamento en $\Omega/\text{cond}/1000$ pies a 60Hz.
MVA_B	Potencia base [MVA]
KV_B	Voltaje base [KV]
X_{MG}	Reactancia de un circuito trifásico típico instalado en un ducto magnético en $\Omega/1000$ pies a 60 Hz.
X_{NMG}	Reactancia de un circuito trifásico típico instalado en ducto no magnético en $\Omega/1000$ pies a 60 Hz.
NUC	Cantidad de conductores del alimentador.
GR	Temperatura en C a la cual se encuentra la resistencia del alimentador.
GD	Temperatura en C a la cual se desea calcular la resistencia del alimentador.
R	Resistencia del alimentador a la temperatura GR en $\Omega/1000$ pies a 60 Hz.
K	Variable en función del material del conductor: K = 234.5 para cobre recocido (100% de conductividad). K = 241.5 para cobre estirado duro (79.3% de conductividad). K = 228.1 para aluminio.

6.- Reactores limitadores de corriente.

$$Z_{pu} = Z_{\Omega} \cdot \left(\frac{MVA_B}{KV_B} \right)^2$$

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

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

donde:

Z_{Ω}	Impedancia del reactor [Ω]
MVA_B	Potencia base [MVA]
KV_B	Voltaje base [KV]
X/R	Valor de la relación X/R

para datos típicos multiplicar la Z_{pu} por 0.925.

7.- Dato conocido en ohms.

$$R_{pu} = R_{\Omega} \cdot \left(\frac{MVA_B}{KV_B} \right)^2$$

$$X_{pu} = X_{\Omega} \cdot \left(\frac{MVA_B}{KV_B} \right)^2$$

donde:

R_{Ω}	Resistencia del elemento [Ω]
X_{Ω}	Reactancia del elemento [Ω]
MVA_B	Potencia base [MVA]
KV_B	Voltaje base [KV]

8.- Generadores.

$$X_{pu} = X_G \cdot \left(\frac{MVA_B}{MVA_G} \right) \cdot \left(\frac{KV_G}{KV_B} \right)^2$$

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

donde:

X_G	Reactancia del generador [pu]
MVA_B	Potencia base [MVA]
MVA_G	Potencia nominal del generador [MVA]
KV_B	Voltaje base [KV]
KV_G	Voltaje nominal del generador [KV]
X/R	Valor de la relación X/R

9.- Motores de inducción agrupados.

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{I_{RB}} \right) \cdot \left(\frac{KVA_B}{\Sigma HP} \right) \cdot \left(\frac{KV_M}{KV_B} \right)^2$$

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

donde:

I_{RB}	Corriente promedio a rotor bloqueado del motor equivalente del grupo [pu]
ΣHP	Potencia total del grupo de motores [HP]
KVA_B	Potencia base [KVA]
KV_B	Voltaje base [KV]
KV_M	Voltaje nominal del grupo de motores [KV]
X/R	Valor de la relación X/R

10.- Transformadores de tres devanados.

$$Z_{PS_{pu}} = Z_{PS} \left(\frac{MVA_B}{MVA_{PS}} \right) \left(\frac{KV_T}{KV_B} \right)^2$$

$$Z_{PT_{pu}} = Z_{PT} \left(\frac{MVA_B}{MVA_{PT}} \right) \left(\frac{KV_T}{KV_B} \right)^2$$

$$Z_{ST_{pu}} = Z_{ST} \left(\frac{MVA_B}{MVA_{ST}} \right) \left(\frac{KV_T}{KV_B} \right)^2$$

$$Z_{P_{pu}} = \left(\frac{Z_{PS_{pu}} + Z_{PT_{pu}} - Z_{ST_{pu}}}{2} \right)$$

$$Z_{S_{pu}} = \left(\frac{Z_{PS_{pu}} + Z_{ST_{pu}} - Z_{PT_{pu}}}{2} \right)$$

$$Z_{T_{pu}} = \left(\frac{Z_{PT_{pu}} + Z_{ST_{pu}} - Z_{PS_{pu}}}{2} \right)$$

En cada $Z_{P_{pu}}$, $Z_{S_{pu}}$, $Z_{T_{pu}}$ habrá que aplicar:

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

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

donde:

Z_{PS}	Impedancia primario-secundario [pu]
Z_{PT}	Impedancia primario-terciario [pu]
Z_{ST}	Impedancia secundario-terciario [pu]
MVA_{PS}	Potencia base de Z_{PS} [MVA]
MVA_{PT}	Potencia base de Z_{PT} [MVA]
MVA_{ST}	Potencia base de Z_{ST} [MVA]
KV_T	Voltaje nominal del transformador [KV] (primario, secundario o terciario)
KV_B	Voltaje base [KV] (primario, secundario o terciario)
MVA_B	Potencia bse [MVA]

$Z_{p\text{pu}}$	Impedancia del primario [pu]
$Z_{s\text{pu}}$	Impedancia del secundario [pu]
$Z_{t\text{pu}}$	Impedancia del terciario [pu]
X/R	Valor de la relación X/R

Cuando se utilizan datos típicos del transformador multiplicar la Z_{pu} por 0.9.

11.- Dato conocido en pu.

$$R_{\text{pu}} = R \left(\frac{MVA_B}{MVA} \right) \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2$$

$$X_{\text{pu}} = X \left(\frac{MVA_B}{MVA} \right) \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2$$

donde:

R	Resistencia del elemento en pu @ MVA y KV
X	Reactancia del elemento en pu @ MVA y KV
MVA	Potencia base anterior [MVA]
KV	Voltaje base anterior [KV]
MVA_B	Potencia base nueva [MVA]
KV_B	Voltaje base nuevo [MVA]

Tabla N1.1		
Valores Típicos de Reactancia para Máquinas Síncronas y de Inducción.		
(Valores Expresados en Por Unidad, basados en los kVA de placa(1))		
	<i>X''d</i>	<i>X'd</i>
Generadores de turbina (2)		
2 polos	0.09	0.15
4 polos	0.15	0.23
Generadores de polo saliente con devanados hidráulicos (2)		
12 polos o menos	0.16	0.33
14 polos o más	0.21	0.33
Motores síncronos		
6 polos	0.15	0.23
8 - 14 polos	0.2	0.3
16 polos o más	0.28	0.4
Condensadores síncronos (2)		
	0.24	0.37
Rectificadores síncronos (2)		
600 V de corriente directa	0.2	-
250 V de corriente directa	0.33	-
Motores de Inducción individuales, generalmente mayores a 600 V		
	0.17	-
Motores pequeños, usualmente de 600 V y menores		
	Ver Tablas 4-1 y 4-2	

NOTA: Los kVA base de los motores síncronos pueden ser encontrados a partir de los hp de placa, de la siguiente manera:

para motores con 0.8 fp - kVA base = hp de placa

para motores con 1.0 fp - kVA base = 0.8 x hp de placa

(1) Usar los valores especificados del fabricante si están disponibles.

(2) *X''d* no usados normalmente en cálculos de corto circuito.

Tabla N1.2	
Distancias Medias Geométricas Representativas para Líneas Aéreas	
Voltaje Nominal del Sistema [volts]	Espaciamiento Equivalente en Delta [pulgadas]
120	12
240	12
480	18
600	18
2400	30
4160	30
6900	36
13800	42
23000	48
34500	54
69000	96
115000	204

NOTA:

Cuando los conductores tienen un arreglo triangular con distancias A, B y C entre cada par de conductores, se debe usar la siguiente expresión:

$$DMG = (A \times B \times C)^{1/3}$$

Cuando los conductores están localizados en el mismo plano, y existe una distancia A entre el primero y segundo conductor y entre el segundo y tercer conductor, y una distancia 2A entre el primero y tercer conductor, entonces la distancia media geométrica es 1.26 la distancia A.

$$DMG = (A \times A \times 2A)^{1/3} = 1.26 A$$

Tabla N1.3			
Constantes para Conductores de Cobre con un Espaciamiento Simétrico de 1 ft *			
Calibre del Conductor		Resistencia R a 50°C, 60 Hz	Reactancia XA a 1 ft de espaciamento, 60 Hz
(cmil)	(AWG No.)	(ohms conductor 1000 ft)	(ohms conductor 1000 ft)
1000000		0.013	0.0758
900000		0.0142	0.0769
800000		0.0159	0.0782
750000		0.0168	0.079
700000		0.0179	0.08
600000		0.0206	0.0818
500000		0.0246	0.0839
450000		0.0273	0.0854
400000		0.0307	0.0867
350000		0.0348	0.0883
300000		0.0407	0.0902
250000		0.0487	0.0922
211600	4/0	0.0574	0.0953
167800	3/0	0.0724	0.0981
133100	2/0	0.0911	0.101
105500	1/0	0.115	0.103
83690	1	0.145	0.106
66370	2	0.181	0.108
52630	3	0.227	0.111
41740	4	0.288	0.113
33100	5	0.362	0.116
26250	6	0.453	0.121
20800	7	0.57	0.123
16510	8	0.72	0.126

NOTA: Para un circuito trifásico la impedancia total, línea a neutro, esta dada por:

$$Z = R + j(XA + XB)$$

* Use los factores de espaciamento de XB de las Tablas N1.5 y N1.6 para otros espaciamentos

Tabla N1.4			
Constantes para Cables de Aluminio Reforzados con Acero (ACSR), con un Espaciamiento Simétrico de 1 ft *			
Calibre del Conductor		Resistencia R a 50°C, 60 Hz	Reactancia XA a 1 ft de espaciamiento, 60 Hz
(cmil)	(AWG No.)	(ohms conductor 1000 ft)	(ohms conductor 1000 ft)
1590000		0.0129	0.0679
1431000		0.0144	0.0692
1272000		0.0161	0.0704
1192500		0.0171	0.0712
1113000		0.0183	0.0719
954000		0.0213	0.0738
795000		0.0243	0.0744
715500		0.0273	0.0756
636000		0.0307	0.0768
556500		0.0352	0.0786
477000		0.0371	0.0802
397500		0.0445	0.0824
336400		0.0526	0.0843
266800		0.0662	0.0945
	4/0	0.0835	0.1099
	3/0	0.1052	0.1175
	2/0	0.133	0.1212
	1/0	0.1674	0.1242
	1	0.212	0.1259
	2	0.267	0.1215
	3	0.337	0.1251
	4	0.424	0.124
	5	0.534	0.1259
	6	0.674	0.1273

NOTA: Para un circuito trifásico la impedancia total, línea a neutro, esta dada por:

$$Z = R_j(XA + XB)$$

* Use los factores de espaciamiento de XB de las Tablas N1.5 y N1.6 para otros espaciamientos

Tabla N1.5												
Factor de Corrección por Espaciamento de XB en Ohms por Conductor por 1000 ft a 60 Hz												
Separación (pulgadas)												
(pies)	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	-0.002
1	-	0.0018	0.0035	0.0051	0.0061	0.008	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	0.0255	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	0.035	0.0354	0.0358	0.0362	0.0366
5	0.037	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	0.043	0.0433	0.0436	0.0439	0.0442	0.0445
7	0.0447	0.045	0.0453	0.0455	0.0458	0.046	0.0463	0.0466	0.0468	0.0471	0.0473	0.0476
8	0.0478	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla N1.6				
Factor de Corrección por Espaciamiento de XB en Ohms por Conductor por 1000 ft a 60 Hz				
<i>Separación (pulgadas)</i>				
(pies)	0	1/4	2/4	3/4
0	-	-	-0.07290	-0.06360
1	-0.05710	-0.05190	-0.04770	-0.04430
2	-0.04120	-0.03840	-0.03590	-0.03390
3	-0.03190	-0.03010	-0.02820	-0.02670
4	-0.02520	-0.02380	-0.02250	-0.02120
5	-0.02010	-0.01795	-0.01795	-0.01684
6	-0.01590	-0.01494	-0.01399	-0.01323
7	-0.01240	-0.01152	-0.01078	-0.01002
8	-0.00930	-0.00852	-0.00794	-0.00719
9	-0.00660	-0.00605	-0.00529	-0.00474
10	-0.00420	-	-	-
11	-0.00200	-	-	-
12	-	-	-	-

Tabla N1.7
Reactancia de Cables en Circuitos Trifásicos Típicos en Ohms por Conductor por 1000 ft a 60 Hz

<i>Calibre de Cable</i>	<i>Voltaje del Sistema</i>				
	600 V	2400 V	4160 V	6900 V	13800 V
4 a 1					
Cable con tres conductores independientes en conduit magnético	0.0520	0.0620	0.0618	-	-
Cable con un conductor trifásico en conduit magnético	0.0381	0.0384	0.0384	0.0522	0.0526
Cable con un conductor trifásico en ducto no magnético	0.0310	0.0335	0.0335	0.0453	0.0457
1/0 a 4/0					
Cable con tres conductores independientes en conduit magnético	0.0490	0.0550	0.0550	-	-
Cable con un conductor trifásico en conduit magnético	0.0360	0.0346	0.0346	0.0448	0.0452
Cable con un conductor trifásico en ducto no magnético	0.0290	0.0300	0.0300	0.0386	0.0390
250 - 750 kcmil					
Cable con tres conductores independientes en conduit magnético	0.0450	0.0500	0.0500	-	-
Cable con un conductor trifásico en conduit magnético	0.0325	0.0310	0.0310	0.0378	0.0381
Cable con un conductor trifásico en ducto no magnético	0.0270	0.0275	0.0275	0.0332	0.0337

NOTA: Estos valores pueden ser usados para cables armados magnéticos y no magnéticos

IV.- PROGRAMA DE CÓMPUTO.

MÉTODO DE LA NORMA ANSI/IEEE 141-1993

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

La Norma considera la elaboración de tres redes (circuitos equivalentes del sistema eléctrico) para los cálculos de las corrientes de corto circuito. La diferencia entre cada red radica en el valor de la impedancia de las máquinas rotatorias, el cual varía en función de la red analizada.

PRIMERA RED.

La Primera Red permite calcular la corriente de corto circuito bajo la cual trabajarán los fusibles de bajo y alto voltaje, así como los interruptores de bajo voltaje. En el circuito eléctrico equivalente asociado a esta red, se emplean las impedancias subtransitorias de todas las máquinas rotatorias que lo componen.

Los estándares para equipo interruptivo de bajo voltaje permiten determinar una *reactancia subtransitoria modificada* para un grupo de motores de inducción de bajo voltaje y/o motores síncronos alimentados por subestaciones de bajo voltaje. Si el total de la suma de las potencias de los motores a 480 ó 600 volts es aproximadamente igual a los kilovoltamperes nominales del transformador que los alimenta, entonces se utiliza una reactancia en por unidad de 0.25 con respecto a la capacidad nominal del transformador como una impedancia única para representar al grupo de motores.

Para poder comparar los esfuerzos de corto circuito con las capacidades de cierre y apertura de interruptores en alto voltaje de acuerdo con las referencias ANSI/IEEE C37.010-1979 y ANSI/IEEE C37.5-1979, se aplican a las reactancias (o impedancias) de las máquinas rotatorias, los factores de multiplicación que aparecen en la columna de la tabla 4-1 correspondiente a la primera red. En el caso de motores esta multiplicación simula el efecto causado por la disminución en la contribución que éstos hacen a la componente de ac de la corriente de corto circuito.

La siguiente sección muestra como una mala interpretación de los procedimientos establecidos en las normas ANSI/IEEE C37.010-1979 y ANSI/IEEE C37.5-1979 puede obligar un doble análisis de los estudios de corto circuito para motores de inducción en sistemas industriales.

El procedimiento descrito en las normas ANSI/IEEE C37.010-1979 y ANSI/IEEE C37.5-1979, referente a la aplicación de interruptores de alto voltaje, define tres grupos de motores de inducción de acuerdo a su tamaño, recomienda omitir aquel grupo constituido por motores inferiores a 50 hp y aplica factores de multiplicación de 1.2 ó 1.0 a las impedancias subtransitorias de los motores que pertenecen a las clasificaciones de mayor potencia. La guía de aplicación de interruptores de bajo voltaje, ANSI/IEEE C37.13-1981, recomienda el uso de impedancias basadas en valores subtransitorios y permite estimar la contribución simétrica que hacen los motores de bajo voltaje a los corto circuitos que se presentan en las barras de las subestaciones como 4 veces la corriente nominal (el equivalente a una impedancia en por unidad de 0.25).

La estimación que se hace en la contribución de la corriente de corto circuito como *4 veces la corriente nominal*, está determinada en la guía de aplicación ANSI/IEEE C37.13-1981 para interruptores de bajo voltaje, asumiendo un grupo típico de máquinas eléctricas constituido de la siguiente manera:

75% por motores de inducción a 3.6 veces la corriente nominal.

25% por motores sincros a 4.8 veces la corriente nominal.

Sin embargo, se pueden asumir otros grupos de motores; por ejemplo, actualmente muchos grupos de máquinas eléctricas presentan varios motores de inducción de gran potencia a bajo voltaje en vez de motores síncronos, con la desventaja de que los motores de inducción presentan contribuciones de corto circuito de mayor magnitud y duración. A pesar de esto, la aproximación de *4 veces la corriente nominal* continúa siendo aceptada cuando la carga se debe predominantemente a motores de inducción con potencias no especificadas.

Para simplificar el análisis de los cálculos efectuados en sistemas industriales, se propone una sola combinación en la Primera Red para sustituir los grupos de motores descritos anteriormente. Esta afirmación se basa en la siguiente interpretación de las normas a las que se ha hecho referencia:

Debido a que la magnitud inicial de la corriente rms simétrica proporcionada a una terminal cortocircuitada es 6 veces la nominal para motores de inducción típicos, usar para la primera red una estimación de *4.8 veces la corriente nominal* en el caso de motores de inducción de gran potencia a bajo voltaje (descritos como *superiores o iguales a, 50 hp y superiores* en la tabla 4-1) resulta igual que multiplicar la impedancia subtransitoria por 1.2. Para este grupo de motores existe una correspondencia razonable entre los procedimientos para bajo y alto voltaje. Para motores de inducción pequeños (*menores de 50 hp* en la tabla 4-1) una estimación más conservadora sería *3.6 veces la corriente nominal* (equivalente a una impedancia de 0.28 en por unidad), lo que tiene el mismo efecto que multiplicar la impedancia subtransitoria por 1.67.

Tomando esta interpretación como una base, se recomienda seguir el siguiente procedimiento para obtener un sólo sistema industrial multivoltaje para cálculos de corto circuito correspondientes a la Primera Red:

- (a) Incluir todos los motores conectados al sistema, para aquellos inferiores a 50 hp, utilizar el factor de multiplicación de 1.67 para las impedancias subtransitorias (si se conocen) o una impedancia estimada de 0.28 para la Primera Red, basada en los datos del motor.

(b) Incluir los motores de mayor potencia empleando los factores de multiplicación de la tabla 4-1. La mayoría de los motores de 50 hp o más a bajo voltaje se encuentran en el grupo de 1.2 veces la reactancia subtransitoria. Una estimación apropiada para la impedancia de Primera Red de este grupo de motores es de 0.2 pu basada en los datos del motor.

Las últimas dos líneas de la tabla 4-1 son reemplazadas en la tabla 4-2. El hecho de tener una sola combinación en la Primera Red añade un aspecto conservador en el cálculo del corto circuito para bajo y alto voltaje. También aumenta la corriente de corto circuito en alto voltaje, calculada para la Primera Red debido a la contribución de motores pequeños y en bajo voltaje, cuando se tienen muchos motores de 50 hp o más, debido al incremento en la contribución de motores de inducción de gran potencia a bajo voltaje.

Una vez que la Primera Red ha sido establecida y sus impedancias convertidas y reducidas a una sola impedancia equivalente en por unidad Z_{pu} (o reactancia X_{pu}), para cada punto de falla de interés, la corriente simétrica de corto circuito es calculada dividiendo el voltaje de operación antes de la falla E_{pu} por Z_{pu} (o X_{pu}) y multiplicando el resultado por la corriente base:

$$I_{cc\ sim} = \frac{E_{pu}}{Z_{pu}} \cdot I_{base}$$

donde $I_{cc\ sim}$ es una corriente rms trifásica simétrica de corto circuito de Primera Red.

La corriente de corto circuito resultante sirve para elegir aquellos interruptores, fusibles y demás equipos de corto circuito diseñados en base a una corriente rms simétrica. Para interruptores de bajo voltaje, las relaciones incorporan una capacidad asimétrica que se emplea para una razón de X/R de 6.6 o menor (factor de potencia de corto circuito mayor o igual a 15%). Un sistema típico alimentado por un transformador con una capacidad nominal de 1000 ó 1500 kVA, presentará una relación de corto circuito X/R dentro de estos límites. Para sistemas más grandes o con diferentes etapas de transformación, es recomendable

verificar la relación X/R ; si resulta ser mayor a 6.6, la aplicación de fusibles o interruptores deberá basarse en las limitaciones de corriente asimétrica (ver norma IEEE C37.13-1990)

Cuando las características de los equipos están expresadas en función de la corriente rms total (asimétrica), la corriente de corto circuito simétrica obtenida del cálculo debe ser afectada por los factores de multiplicación encontrados en la normatividad correspondiente con el objeto de obtener la corriente total (asimétrica) para la Primera Red.

Las propiedades de cierre y bloqueo (o capacidad momentánea) de los interruptores de alto voltaje están expresadas en función de la corriente rms total (asimétrica). El valor de la corriente para la Primera Red se obtiene usando el factor de multiplicación 1.6 especificado en las normas ANSI/IEEE C37.010-1979 y ANSI/IEEE C37.5-1979, la reactancia en el punto de falla X_{pu} (o impedancia X_{pu}).

$$I_{cc\ tot} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \cdot 1.6 \cdot I_{base}$$

donde $I_{cc\ tot}$ es una corriente rms trifásica total (asimétrica) de corto circuito de Primera Red.

SEGUNDA RED. (Para buses superiores a 1 kV)

En la Segunda Red se considera en primer término la capacidad interruptiva con respecto a la corriente rms total de los equipos anteriores a 1964. Los procedimientos descritos en la norma ANSI/IEEE C37.5-1979 deberán ser aplicados independientemente de la edad de los interruptores.

Interruptores anteriores a 1964.

Los factores de multiplicación para las máquinas rotatorias son extraídos de la columna segunda red o red para interruptores de las tablas 4-1 y 4-2.

Para efectuar el cálculo de la Segunda Red es necesario obtener la resistencia (R) de la misma. Para obtener la resistencia de la red es necesario multiplicar el valor de la resistencia de cada una de las máquinas rotatorias por el mismo factor de la tabla 4-1 empleado en el caso de las reactancias.

El siguiente paso consiste en reducir la reactancia y la resistencia de la red a un sólo valor equivalente en por unidad X_{pu} y R_{pu} respectivamente. Después, se debe obtener la relación X/R dividiendo X_{pu} y R_{pu} , se determina el voltaje de operación antes de la falla (E_{pu}) y se obtiene el valor E/X dividiendo E_{pu} y X_{pu} .

Una vez que se conozca la relación E/X se busca el factor de multiplicación en las figuras 4-12 y 4-13. El uso de estas curvas es necesario para conocer el tiempo en que se inicia la apertura de los contactos primarios de los interruptores del sistema, así como la proximidad de los generadores al punto de falla (local o remota). Los factores de multiplicación para los generadores locales se aplican sólo cuando éstos contribuyen de manera predominante al corto circuito y están ubicados de acuerdo con las restricciones indicadas en las figuras 4-12 y 4-14.

Los tiempos mínimos de apertura de contactos más utilizados se muestran en la tabla 26.

Para calcular la corriente rms total interruptiva se aplica la siguiente ecuación:

$$I_{int\ tot} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \cdot \text{factor de multiplicación} \cdot I_{base}$$

Para interruptores más antiguos con capacidades trifásicas interruptivas expresadas en megavoltamperes, la capacidad de interrupción de corriente de corto circuito se obtiene dividiendo los megavoltamperes por $\sqrt{3}$ y por el voltaje de operación en kV.

$$\text{Capacidad de interrupción de } I_{cc \text{ asim}} \text{ [kA]} = \frac{\text{Capacidad interruptiva en MVA}}{\text{Voltaje de operación} \cdot \sqrt{3}}$$

Interruptores posteriores a 1964.

Para este caso, se aplicarán los procedimientos descritos en la norma ANSI/IEE C37.010-1979. Una vez que las relaciones E/X y X/R han sido determinadas, se seleccionan los factores de multiplicación para la corrección de E/X de las figuras 4-14 y 4-15. En este caso también son necesarias estas curvas para conocer el tiempo en que se inicia la apertura de los contactos primarios de los interruptores del sistema, así como la proximidad de los generadores al punto de falla (local o remota).

Igual que en el caso anterior, para obtener la capacidad interruptiva simétrica se aplica la siguiente ecuación:

$$I_{int \text{ sim}} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \cdot \text{factor de multiplicación} \cdot I_{base}$$

Es necesario aclarar que la anterior es una capacidad interruptiva simétrica sólo si el factor de multiplicación para E/X es 1.0. De lo contrario, la capacidad simétrica interruptiva se calcula de la siguiente manera:

$$I_{int \text{ sim}} = \frac{(I_{cc \text{ nom}}) \cdot (E_{má x})}{E_{operación}}$$

Este valor no debe exceder la capacidad interruptiva simétrica máxima especificada para los interruptores que sean utilizados en el sistema.

Los procedimientos de cálculo descritos para la Primera y Segunda Redes difieren en muchos aspectos de los procedimientos detallados en versiones anteriores de esta norma. Las diferencias se basan principalmente en la intención de considerar con mejor exactitud la

contribución de los motores de inducción de gran potencia, de el decaimiento exponencial de la componente de dc en la corriente de corto circuito y de la disminución en la contribución de ac debida a generadores ubicados cerca del punto de falla.

TERCERA RED.

Para la aplicación de relevadores instantáneos, se debe utilizar la corriente de corto circuito utilizada en la Primera Red. Para la aplicación de relevadores con retardo de tiempo superior a los 6 ciclos, el sistema equivalente sólo incluirá generadores y elementos pasivos como son cables y transformadores. Los generadores se representan con una impedancia transitoria relacionada con la magnitud de la disminución en la corriente de corto circuito en un tiempo determinado. Todas las contribuciones debidas a los motores son omitidas. Exclusivamente aquellos generadores que contribuyen a la corriente de falla a través del relevador bajo estudio deben ser tomados en cuenta.

La corriente de corto circuito rms simétrica se determina con la relación E_{pu} / X_{pu} , donde X_{pu} se obtiene al reducir el circuito constituido por los generadores y equipo pasivo (cables, transformadores, etc) que se encuentran en la trayectoria cubierta por el relevador bajo análisis.

Tabla 4-1		
Multiplicadores para Reactancias (o Impedancias) de Máquinas Rotatorias		
<i>Tipo de Máquina Rotatoria</i>	<i>Primera Red</i>	<i>Segunda Red</i>
Generadores de turbina, hidrogeneradores con devanados amortiguadores, condensadores.	$1.0 X''d$	$1.0 X''d$
Hidrogeneradores sin devanador amortiguadores	$0.75 X''d$	$0.75 X''d$
Motores Síncronos	$1.0 X''d$	$1.5 X''d$
Motores de Inducción		
Superiores a 1000 hp a 1800 r/min o menos	$1.0 X''d$	$1.5 X''d$
Superiores a 250 hp a 3600 r/min	$1.0 X''d$	$1.5 X''d$
Superiores o iguales a 50 hp	$1.2 X''d$	$3.0 X''d$
Menores de 50 hp	<i>Ninguno</i>	<i>Ninguno</i>

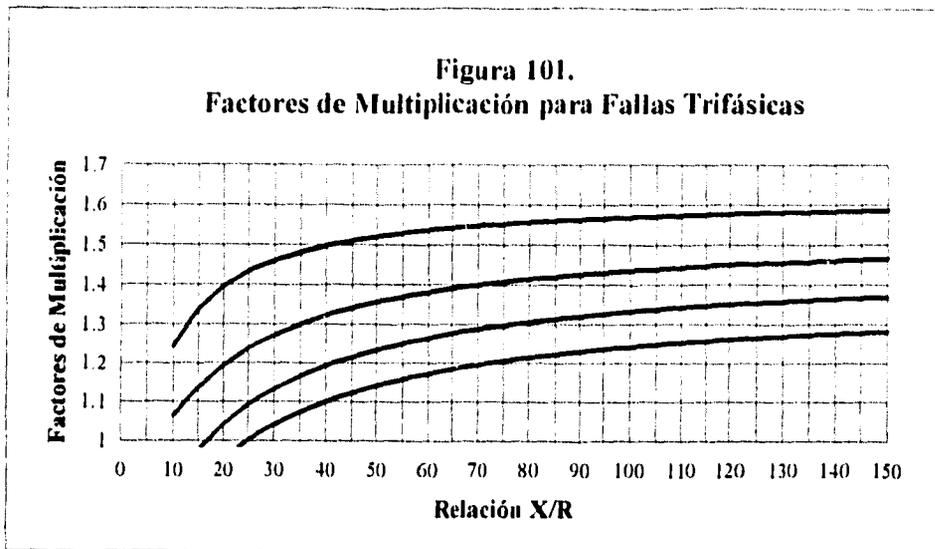
De ANSI/IEEE C37.010-1979 [2] y ANSI/IEEE C37.5-1979 [3]

Tabla 4-2		
Multiplicadores para Reactancias (o Impedancias) de Máquinas Rotatorias (Cambios en la Tabla 24 para Cálculos Completos en Sistemas Multivoltaje)		
<i>Tipo de Máquina Rotatoria</i>	<i>Red para primer ciclo</i>	<i>Red para interruptores</i>
Motores de Inducción		
Superiores o iguales a 50 hp	$1.2 X''d (1)$	$3.0 X''d (3)$
Menores de 50 hp	$1.67 X''d (2)$	<i>Ninguno</i>

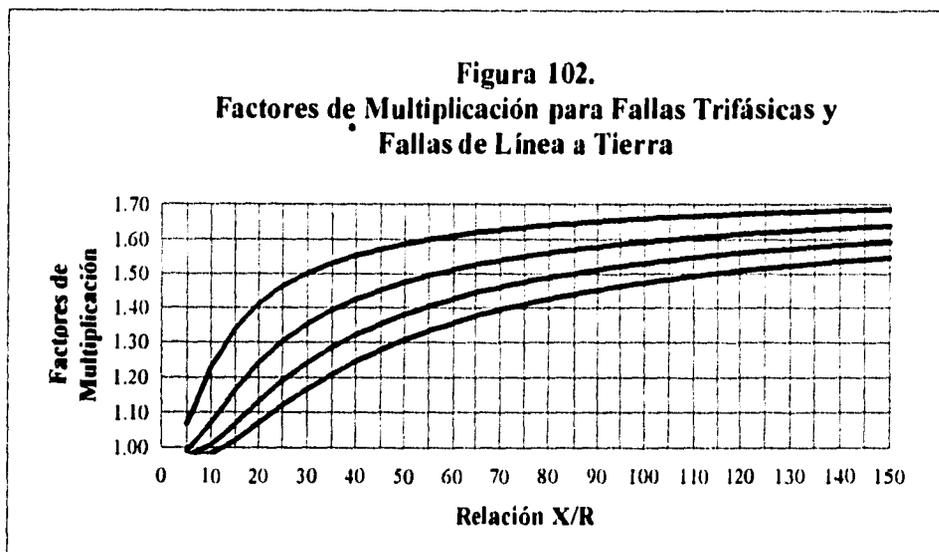
(1) O estimar $X = 0.20$ pu basados en los datos del motor

(2) O estimar $X = 0.28$ pu basados en los datos del motor

(3) O estimar $X = 0.50$ pu basados en los datos del motor



Nota: Aportación predominantemente de generadores a través de una transformación o con reactancia externa en serie no mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador local .- (Norma ANSI/IEEE C37.5-1979[3])



Nota: Aportación predominante de dos o más transformaciones o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador remoto .- (Norma ANSI/IEEE C37.5-1979[3])

Figura N-1.1
Relación X/R de Transformadores Autoenfriados
(Basada en la Norma ANSI/IEEE C37.010 - 1979 [2])

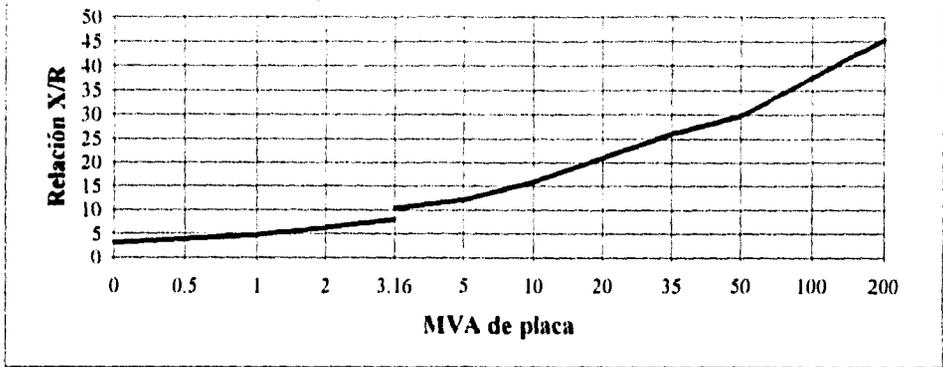


Figura N-1.2
Relación X/R de Pequeños Transformadores y Motores Síncronos
(Rotor sólido y polos salientes)
(Basada en la Norma ANSI/IEEE C37.010 - 1979 [2])

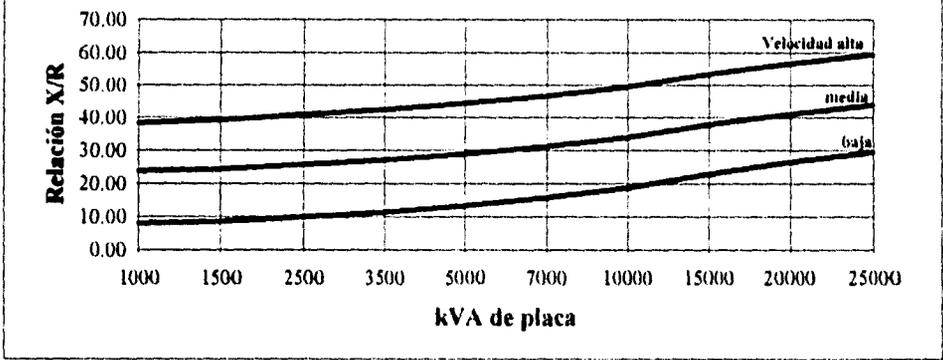
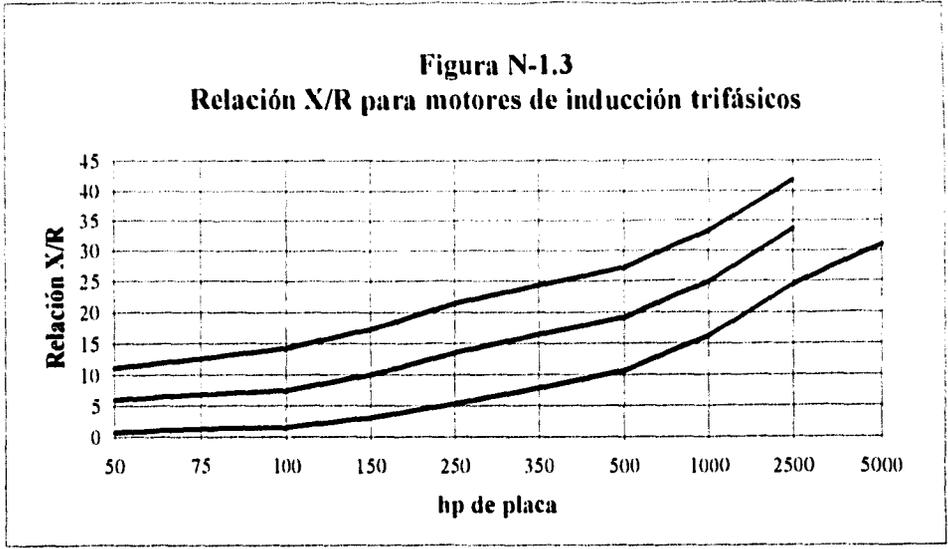
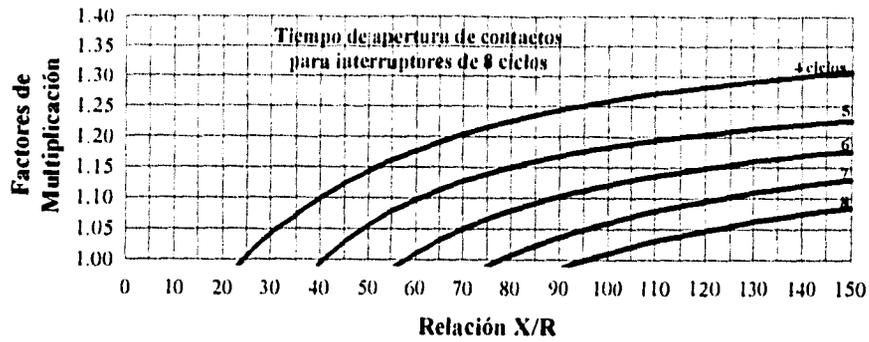


Figura N-1.3
Relación X/R para motores de inducción trifásicos

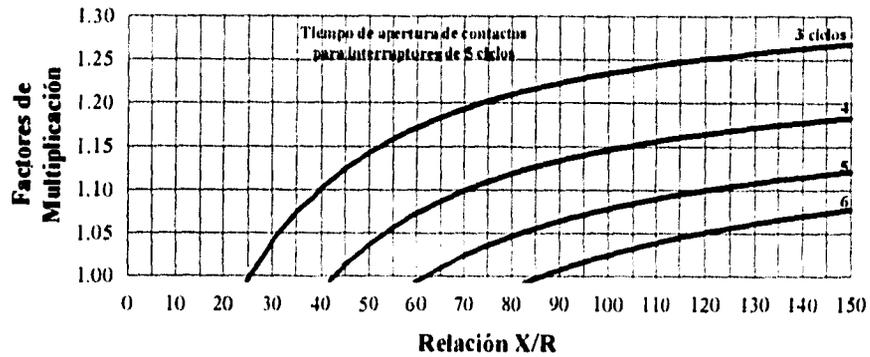


**Figura 103,
Factores de Multiplicación para Fallas Trifásicas
Alimentadas Predominantemente por Generadores**

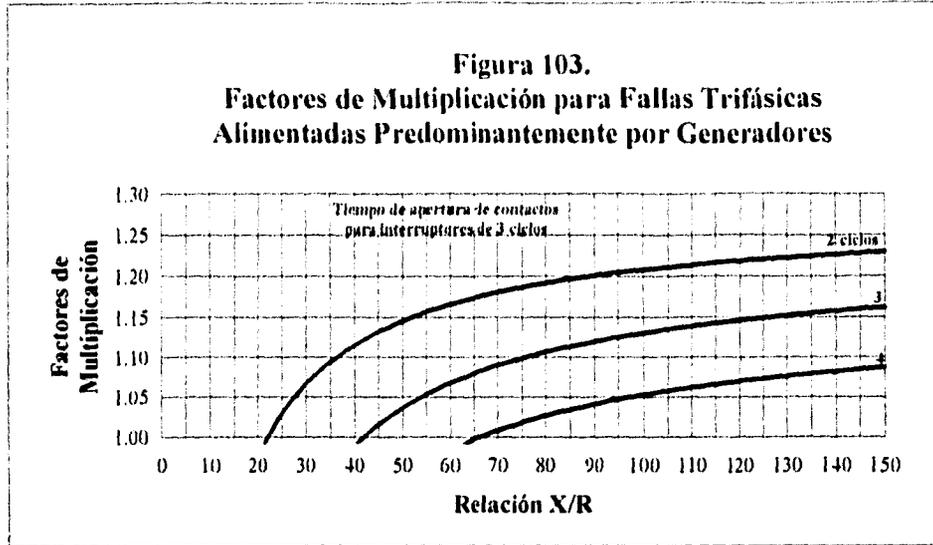


Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador (local). - (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).

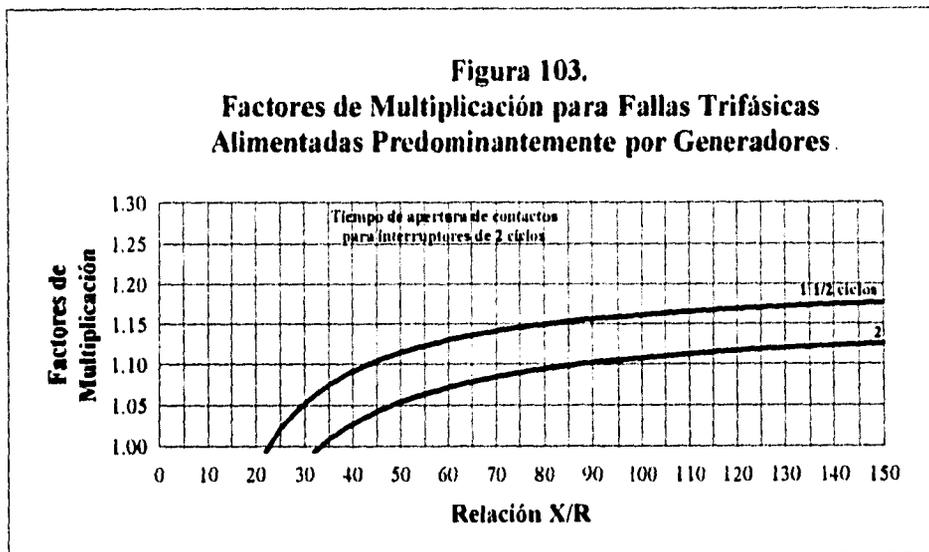
**Figura 103.
Factores de Multiplicación para Fallas Trifásicas Alimentadas
Predominantemente por Generadores**



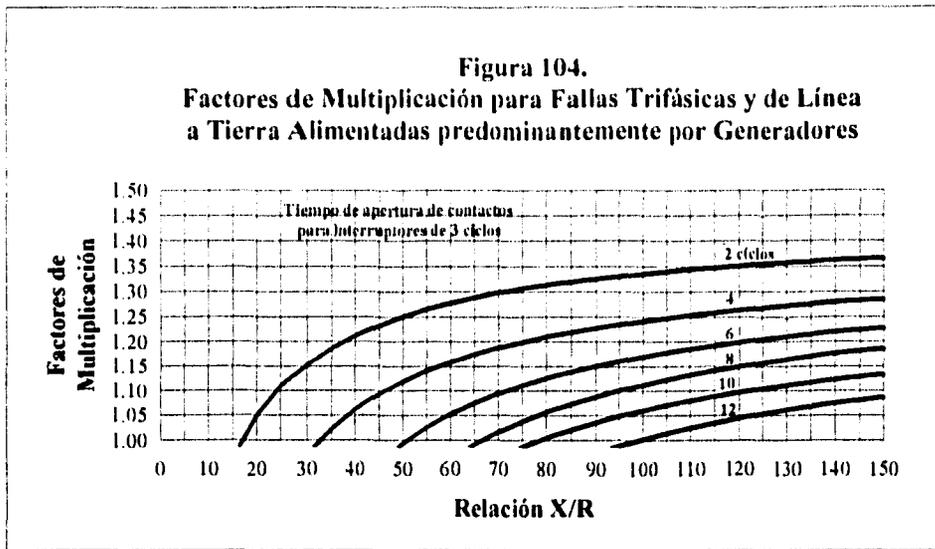
Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador (local). - (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).



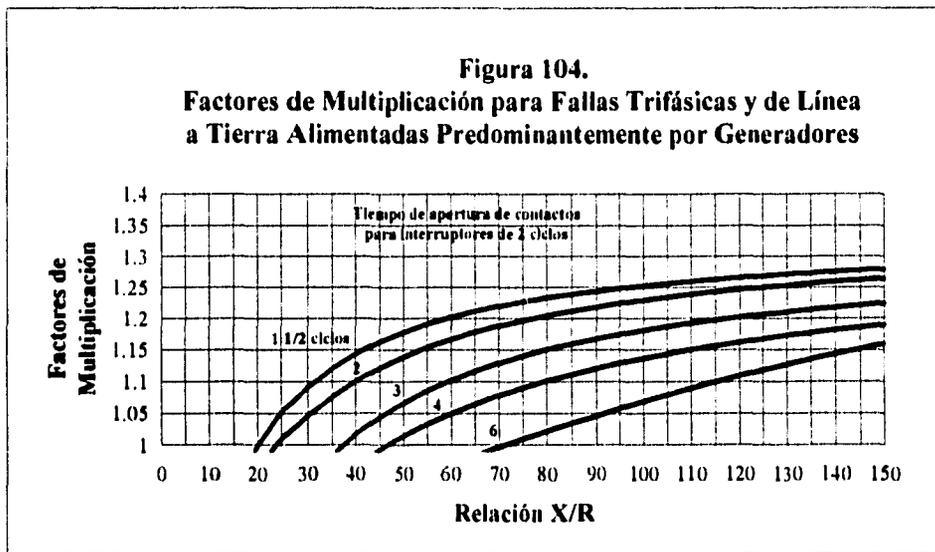
Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador local .- (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).



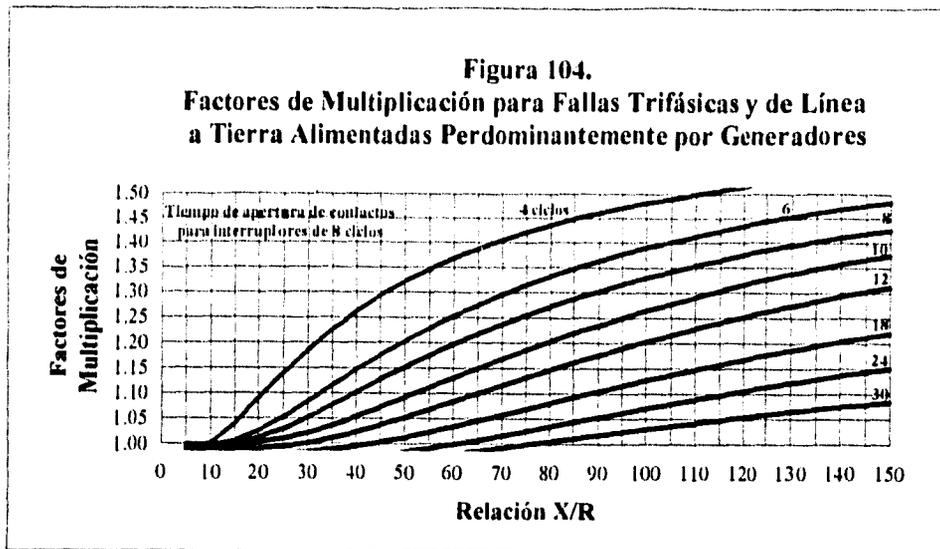
Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador local .- (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).



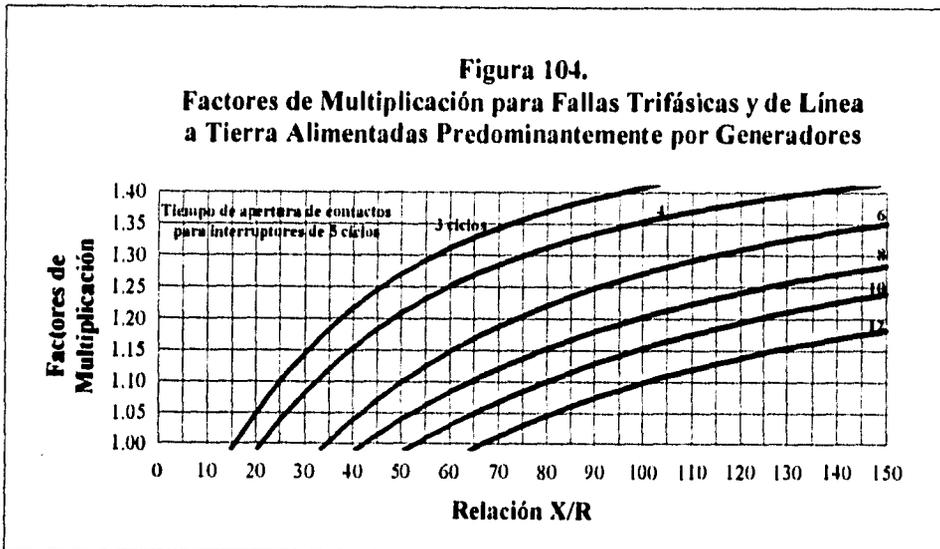
Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador (remoto). - (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).



Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador (remoto). - (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).



Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador (remoto) .- (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).



Nota: Aportación a través de no más de una transformación o con reactancia externa en serie igual o mayor de 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador (remoto) .- (Norma ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 [2]).

Tabla 74				
Factores de Asimetría				
Relación Respecto a la Corriente RMS Simétrica				
Factor de Potencia del Corto Circuito [%]	Relación X/R del Corto Circuito	Máxima Corriente Instantánea Pico por Fase Mp	Máxima Corriente RMS por Fase a Medio Ciclo Mit	Corriente RMS Promedio Trifásico a Medio Ciclo Ma
0	infinito	2.828	1.732	1.391
1	100.00	2.785	1.696	1.371
2	49.991	2.743	1.665	1.355
3	33.322	2.702	1.630	1.336
4	24.979	2.663	1.598	1.318
5	19.974	2.625	1.568	1.301
6	16.623	2.589	1.540	1.285
7	14.251	2.554	1.511	1.270
8	12.460	2.520	1.485	1.256
9	11.064	2.487	1.460	1.241
10	9.950	2.455	1.436	1.229
11	9.0354	2.424	1.413	1.216
12	8.2733	2.394	1.391	1.204
13	7.6271	2.364	1.372	1.193
14	7.0721	2.336	1.350	1.182
15	6.5912	2.309	1.330	1.171
16	6.1695	2.282	1.312	1.161
17	5.7947	2.256	1.294	1.152
18	5.4649	2.231	1.277	1.143
19	5.1672	2.207	1.262	1.133
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
21	4.6557	2.160	1.232	1.119
22	4.4341	2.138	1.218	1.112
23	4.2313	2.110	1.205	1.105
24	4.0450	2.093	1.192	1.099
25	3.8730	2.074	1.181	1.093
26	3.7138	2.054	1.170	1.087
27	3.5661	2.034	1.159	1.081
28	3.4286	2.013	1.149	1.075
29	3.3001	1.996	1.139	1.070
30	3.1798	1.978	1.130	1.066
31	3.0669	1.960	1.121	1.062
32	2.9608	1.943	1.113	1.057
33	2.8606	1.926	1.105	1.053
34	2.7660	1.910	1.098	1.049
35	2.6764	1.894	1.091	1.046
36	2.5916	1.878	1.084	1.043
37	2.5109	1.863	1.078	1.039
38	2.4341	1.848	1.073	1.036
39	2.3611	1.833	1.068	1.033
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
41	2.2246	1.805	1.057	1.028
42	2.1608	1.791	1.053	1.026
43	2.0996	1.778	1.049	1.024
44	2.0409	1.765	1.045	1.022
45	1.9845	1.753	1.041	1.020
46	1.9303	1.740	1.038	1.019
47	1.8780	1.728	1.034	1.017
48	1.8277	1.716	1.031	1.016
49	1.7791	1.705	1.029	1.014
50	1.7321	1.694	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3353	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.002	1.001
75	0.8819	1.486	1.0008	1.0004
80	0.7500	1.460	1.0002	1.00003
85	0.6198	1.439	1.00004	1.00002
100	0.0000	1.414	1.00000	1.00000

PROGRAMA NORMA.

INTRODUCCIÓN.

El programa *NORMA* fue creado con la finalidad de proporcionar una herramienta informática que nos brinde ayuda en la aplicación de la metodología de la Norma ANSI/IEEE 141-1993 para los análisis de corto circuito. Dicho programa realiza el cálculo de impedancias, reduce a impedancias equivalentes, calcula la matriz Zbus, aplica los factores según el elemento del sistema del que se trate, aplica factores de acuerdo a la red que se este calculando y finalmente calcula el corto circuito.

Este programa *NORMA* fue creado en el lenguaje de alto nivel FORTRAN 77 y las funciones de cada subrutina se muestra en el diagrama de flujo.

La forma en que el programa *NORMA* esta estructurado permite al usuario presentar el circuito a analizar de la forma más sencilla, es decir, se necesitan los datos de placa de los elementos y las características principales de los buses, conductores, suministro, etc., correspondiéndole al usuario únicamente verificar que todos los datos estén en las unidades adecuadas.

Los diez elementos que *NORMA* puede manejar y sus características son:

SUMI (Compañía Suministradora)

- Potencia de corto circuito, MVAcc [MVA].
- Voltaje nominal, Vnom [KV].
- Voltaje base, VB [KV].
- Relación X sobre R, X/R .

TRAN (Transformador de Dos Devanados)

- Potencia nominal, Snom [MVA].

- Voltaje nominal en el devanado primario, V_{prim} [KV].
- Voltaje base en el devanado primario, V_{Bprim} [KV].
- Impedancia del transformador, Z [%].
- Relación X sobre R, X/R .

NOTA: En caso de que se desconozca el valor de la relación X/R , se debe poner 0 (cero) y el programa lo estimara por medio de la tabla correspondiente.

MTIN (Motor de Inducción)

- Potencia nominal, P_{nom} [HP].
- Voltaje nominal, V_{nom} [KV].
- Voltaje base, V_B [KB].
- Factor de potencia, FP .
- Eficiencia, $EFIC$.
- Revoluciones por minuto, $REVMIN$.
- Corriente de rotor bloqueado, I_{rb} [pu].

NOTA: En caso de que se desconozca el valor de esta corriente, se deberá indicar con un cero (0) y *NORMA* lo estimara.

- Relación X sobre R, X/R .

NOTA: En caso de que se desconozca el valor de la relación X/R , se debe poner 0 (cero) y el programa lo estimara por medio de la tabla correspondiente.

MTSI (Motor Sincrono)

- Potencia nominal, P_{nom} [HP].
- Voltaje nominal, V_{nom} [KV].
- Voltaje base, V_B [KV].
- Factor de potencia, FP .
- Eficiencia, $EFIC$.
- Revoluciones por minuto, $REVMIN$.
- Reactancia subtransitoria, $X''d$ [pu].
- Relación X sobre R, X/R .

NOTA: En caso de que se desconozca el valor de la relación X/R, se debe poner 0 (cero) y el programa lo estimara por medio de la tabla correspondiente.

CABL (Cable)

- Número de conductores por fase.
- Diámetro, DIAM [MCM].
- Longitud, LONG [ft].
- Relación XMG/XNMG.
- Material:
 - 1) Cobre recocido.
 - 2) Cobre estirado.
 - 3) Aluminio.
- Espacing en delta, DMG [pulg].
- Reactancia a un pie de esparcimiento y a 60 Hz, XA [Ω /COND/1000 PIES].
- Resistencia, R [Ω /COND/1000 PIES].
- Voltaje nominal, Vnom [KV].
- Voltaje base, VB [KV].
- Temperatura a la que se desea transferir la resistencia, T[°C].

REAC (Reactor)

- Impedancia, Z [Ω].
- Voltaje base, VB [KV].
- Relación X sobre R, X/R.

DATO (Dato Conocido en Ohms [Ω])

- Resistencia, R [Ω].
- Reactancia, X [Ω].
- Voltaje base, VB [KV].

GENE (Generador)

- Potencia nominal, S_{nom} [MVA].
- Voltaje nominal, V_{nom} [KV].
- Voltaje base, V_B [KV].
- Reactancia subtransitoria, X''_d [pu].
- Reactancia transitoria, X'_d [pu].
- Relación X sobre R, X/R .

NOTA: En caso de que se desconozca el valor de la relación X/R , se puede sustituir por las revoluciones por minuto (REVMIN) y si también estas se desconocen se debe poner 0 (cero) y el programa lo estimara por medio de la tabla correspondiente.

MTIA (Motores de Inducción Agrupados)

- Suma total de potencias, δP [HP].
- Voltaje Nominal, V_{nom} [KV].
- Voltaje base, V_B [KV].
- Corriente con rotor bloqueado, I_{rb} [pu].

NOTA: En caso de que se desconozca el valor de esta corriente, se deberá indicar con un cero (0) y *NORMA* lo estimara.

- Relación X sobre R, X/R .

DATP (Dato Conocido en Por Unidad [pu])

- Resistencia, R [pu].
- Reactancia, X [pu].
- Potencia nominal, S_{nom} [MVA].
- Voltaje nominal, V_{nom} [KV].
- Voltaje base, V_B [KV].

ESTRUCTURA

La estructura general en que se basa este programa se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

- 1.-Se lee el archivo de datos; o en el caso de que no se cuente con él, se procede a pedir la información necesaria para generarlo.
- 2.-Se lee el archivo de datos (se inician las variables del programa con sus valores correspondientes).
- 3.-Se calcula la impedancia de cada elemento y en caso de que existan dos o más elementos en serie se realiza la reducción a una impedancia equivalente. Con los resultados de este proceso se genera un archivo de impedancias para poder generar la matriz Zbus.
- 4.-Se genera la matriz Zbus y en base a esta se calculan las corrientes de corto circuito en cada bus y las corrientes que contribuyen a la falla de cada uno de los circuitos conectados a dicho bus.
- 5.-Se aplican los factores, que establece la Norma 141, a las corrientes de corto circuito resultantes de acuerdo a la red que se este calculando.
- 6.-Se despliegan los resultados en pantalla y también se genera un archivo con dichos resultados.

ARCHIVO DE DATOS.

El archivo de datos contiene toda la información del sistema que se esta analizando. Como se puede ver en el diagrama de flujo, el programa *NORMA* tiene dos alternativas: que el archivo de datos ya este creado y solo se tenga que leer, o crearlo; cuando decimos que el

archivo de datos ya esta creado, se debe entender que pudo haber sido creado anteriormente por el mismo programa *NORMA* o pudo ser creado por cualquier editor que guarde sus archivos en código ASCII. Sea cual fuere el caso, el archivo de datos esta configurado de la siguiente forma:

1.-Primer renglón

Datos generales: -Nº de buses
 -Nº de enlaces, entendienddo por enlace al (los)
 elemento(s) del sistema que va(n) de un bus a otro.
 -Potencia base [MVA].

El orden es el siguiente:

<i>Nº de</i>	<i>Nº de</i>	<i>Potencia</i>
<i>Buses</i>	<i>Enlaces</i>	<i>Base</i>

2.-A partir del segundo renglón se piden los elementos conectados a los buses y que no son enlaces. Primero se especifica el número de bus, después el voltaje nominal del bus, el número de ramas (sin contar enlaces), el tipo de factor de multiplicación que se va a utilizar, el tiempo de apertura de los contactos de los interruptores (en ciclos) para la corriente total, el tiempo de apertura de los contactos de los interruptores (en ciclos) para la corriente simétrica, y finalmente el número de ciclos del interruptor de potencia.

Posteriormente se va dando cada una de las ramas especificando en cada caso cuantos elementos existen conectados en esta; por último se anota el tipo de elementos y los datos necesarios. Es decir:

<i>Nº</i>	<i>Voltaje</i>	<i>Nº de</i>	<i>Factor de</i>	<i>T. de Aper.</i>	<i>T. de Aper.</i>	<i>Ciclos</i>
<i>Bus</i>	<i>Nominal</i>	<i>Ramas</i>	<i>Multiplíc.</i>	<i>Corr. Tot.</i>	<i>Corr. Sim.</i>	

(Bus 1)

**N° de Elementos
en Serie**

(Rama 1 del Bus 2)

**Nombre del
Elemento**

(Elemento 1 de la Rama 1 del Bus 2)

Características del Elemento

**Nombre del
Elemento**

(Elemento 2 de la Rama 1 del Bus 2)

Características del Elemento

**N° de Elementos
en Serie**

(Rama 2 del Bus 2)

**Nombre del
Elemento**

(Elemento 1 de la Rama 2 del Bus 2)

Características del Elemento

N° Bus	Voltaje Nominal	N° de Ramas	Factor de Multiplic.	T. de Aper. Corr. Tot.	T. de Aper. Corr. Sim.	Ciclos
-------------------	----------------------------	------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---------------

(Bus 3)

3.- Enlaces: Se piden los elementos de cada enlace. Después de dar los números de buses entre los que se encuentra el enlace, se procede a especificar el número de elementos que se tienen conectados en serie. Por último se dan la clave del elemento y sus características.

En el archivo de datos quedaría:

<i>Bus</i>	<i>Bus</i>	<i>Nº de Elementos</i>	
<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	<i>en Serie</i>	(Enlace Nº 1)

Nombre del Elemento (Elemento 1 en Serie del Enlace 1)

Características de Elemento

Nombre del Elemento (Elemento 2 en Serie del Enlace 1)

Características de Elemento

<i>Bus</i>	<i>Bus</i>	<i>Nº de Elementos</i>	
<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	<i>en Serie</i>	(Enlace Nº 2)

Nombre del Elemento (Elemento 1 en Serie del Enlace 2)

Características de Elemento

Nombre del

Elemento (Elemento 2 en Serie del Enlace 2)

Características de Elemento

Bus	Bus	N° de Elementos	
Origen	Destino	en Serie	(Enlace N° 3)

LECTURA DE DATOS.

Como se mencionó anteriormente, el programa *NORMA* lee todos los datos necesarios de un archivo de datos; también, como ya se indicó, este archivo de datos puede ser generado por el propio programa *NORMA* o puede ser hecho por cualquier editor que guarde sus archivos en código ASCII.

En el caso de que se decida crear el archivo de datos con un editor, se debe seguir la estructura indicada en la sección anterior. Si se desea crear dicho archivo directamente con el programa *NORMA*, mediante su subrutina *CAPTU*, ira pidiendo uno a uno los datos necesarios.

CÁLCULO DE IMPEDANCIAS.

Cuando el programa *NORMA* ha terminado de leer todos los datos procede a calcular cada una de las impedancias de los elementos. Para ello el programa *NORMA* tiene la subrutina *CALCULO*. De esta manera, la subrutina *CALCULO* realiza todas las operaciones aplicando las fórmulas correspondientes y los factores que la norma establece para cada uno de los casos según la red de la que se trate. En los casos en que sea necesario aplicar algún factor que se obtiene de alguna gráfica (curva, recta, etc.) la subrutina *CALCULO* cuenta con las ecuaciones que representa a cada una de estas curvas o tablas.

Al mismo tiempo que se van calculando las impedancias de los elementos el programa *NORMA* va haciendo reducciones a impedancias equivalentes en las ramas o enlaces del sistema cuando se tengan dos o más elementos en serie.

Con los resultados que se van obteniendo de este procedimiento, se genera un archivo de resultados que servirá como base para que la subrutina *TRIFAN* genere la matriz *Zbus*.

CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

Una vez terminado el cálculo de impedancias, se procede a calcular las corrientes de corto circuito. Para tal efecto el programa utiliza el método de la matriz *Zbus*. Esta matriz es generada por la subrutina *TRIFAN*, aplicando el método de formación directa, a partir del archivo de resultados que generó el programa con las impedancias equivalentes del sistema.

Posteriormente, se calculan la impedancia equivalente en cada bus, la corriente de falla, la potencia de corto circuito y las contribuciones al corto circuito.

Antes de presentar los resultados, la subrutina *FACTOR* se encarga de afectar las corrientes de corto circuito con el factor correspondiente según las características de bus, red, interruptores, etc. según lo indica la Norma 141.

CÁLCULO DE IMPEDANCIAS.

Cuando el programa *NORMA* ha terminado de leer todos los datos procede a calcular cada una de las impedancias de los elementos. Para ello el programa *NORMA* tiene la subrutina *CALCULO*. De esta manera, la subrutina *CALCULO* realiza todas las operaciones aplicando las formulas correspondientes y los factores que la norma establece para cada uno de los casos según la red de la que se trate. En los casos en que sea necesario aplicar algún factor que se obtiene de alguna gráfica (curva, recta, etc.) la subrutina *CALCULO* cuenta con las ecuaciones que representa a cada una de estas curvas o tablas.

Al mismo tiempo que se van calculando las impedancias de los elementos el programa *NORMA* va haciendo reducciones a impedancias equivalentes en las ramas o enlaces del sistema cuando se tengan dos o más elementos en serie.

Con los resultados que se van obteniendo de este procedimiento, se genera un archivo de resultados que servira como base para que la subrutina *TRIFAN* genere la matriz Zbus.

CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

Una vez terminado el cálculo de impedancias, se procede a calcular las corrientes de corto circuito. Para tal efecto el programa utiliza el método de la matriz Zbus. Esta matriz es generada por la subrutina *TRIFAN*, aplicando el método de formación directa, a partir del archivo de resultados que generó el programa con las impedancias equivalentes del sistema.

Posteriormente, se calculan la impedancia equivalente en cada bus, la corriente de falla, la potencia de corto circuito y las contribuciones al corto circuito.

Antes de presentar los resultados, la subrutina *FACTOR* se encarga de afectar las corrientes de corto circuito con el factor correspondiente según las características de bus, red, interruptores, etc. según lo indica la Norma 141.

Finalmente se presentan los resultados en pantalla y simultáneamente se genera un archivo de resultados con la misma información

USO DEL PROGRAMA *NORMA* Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

Para que el programa *NORMA* empiece a funcionar basta con teclear *NORMA*.

En primer lugar el programa va a preguntar si existe un archivo de datos; y después va a pedir el nombre del archivo de datos con su respectiva extensión. Si se tiene un archivo de datos creado, *NORMA* procederá a leerlo, en caso contrario se procederá a pedir los datos del sistema para crear dicho archivo. Si se contesta al programa que *si* existe un archivo de datos y si el nombre del archivo de datos esta equivocado o no existe, el programa *NORMA* desplegará una nota de error y volverá a pedir el nombre del archivo. Si se le contesta que *no* existe un archivo y el nombre asignado a este nuevo archivo coincide con el nombre de otro archivo creado con anterioridad, se desplegará una nota de error y reiniciará todo el proceso. En caso de que se desee salir del programa en ese momento, se debe teclear *SALIR* cuando el programa pida el nombre del archivo (ya sea el de datos o el de resultados) ya que de otra forma no se podrá salir de este ciclo.

A continuación el programa *NORMA* pedirá el nombre del archivo de resultados con su respectiva extensión. Cabe mencionar que en el caso de que exista otro archivo con el mismo nombre, este primer archivo sera sustituido por el nuevo. Se sugiere que el archivo de resultados lleve el mismo nombre del archivo de datos y que sólo se le cambie la extensión *DAT* por la extensión *RES*; por ejemplo, si el archivo de datos se llama *CASOI.DAT* se sugiere que el archivo de resultados se llame *CASOI.RES*.

Después el programa *NORMA* pedirá el letrero que posteriormente se colocará en el desplegado de resultados, dicho letrero puede ser hasta de 40 caracteres.

Posteriormente se mostrará la impedancia de cada uno de los elementos del sistema.

Finalmente se mostrarán los resultados de cada uno de los buses:

- El número de bus.
- El voltaje en el bus.
- En el caso de que se esté calculando la primera red se desplegará una columna que indicará si el resultado es para fusible o interruptor.
- Si se trata de un análisis de segunda red, se desplegará una columna que nos dirá si es un cálculo con corriente total o con corriente simétrica.
- Impedancia equivalente en p.u. (resistencia y reactancia).
- Relación X/R.
- Falla total trifásica en el bus, en amperes.
- Potencia de corto circuito.
- Corrientes de contribución de los elementos con los que se tenga conexión.
- Nombre del elemento del que se tenga la contribución.

Una vez desplegados los resultados de todos los buses, NORMA habrá terminado su trabajo.

Para obtener los resultados en papel, bastará con imprimir el archivo de resultados.

RESTRICCIÓN.

Al editar el archivo de datos se debe observar lo siguiente:

- Los enlaces deben de ir al final del archivo, es decir, después de los datos de los buses.
- Se deben de dar los buses en orden aritmético.
- En los enlaces, el número del bus de origen debe ser número del bus con número menor (de los dos buses entre los que se encuentra conectado el elemento), y el número de bus de destino sea el mayor.

De cualquier forma en que sea creado el archivo de datos, los enlaces deben ser dados en orden creciente, es decir, el enlace que este conectado a bus con menor número debe ir antes que los demás. En el archivo de datos creado para el ejemplo se puede ver como se debe cuidar este orden.

SUGERENCIAS.

1) El nombre del archivo de datos y su extensión pueden ser cualquiera, sin embargo, se sugiere poner un nombre que esté asociado con el sistema en estudio y la extensión del archivo sea *DAT* (nombre.DAT).

2) Dado que, en el archivo de datos, no importa el número de espacios entre cada dato, es conveniente, cuando se crea con un editor, alinear a todos los elementos del archivo para su fácil identificación. Si se desea, se pueden escribir comentarios al final de cada renglón (lado derecho), lo anterior también en el caso de que el archivo de datos sea creado con algún editor.

NORMA.FOR

```

PROGRAM NORMA141
C
C --- PROGRAMA DE CALCULO DE FALLAS
C --- APLICANDO LA NORMA DE LA IEEE 141 DE 1993
C
C --- DECLARACIONES
C
      INTEGER      NB,NNB,B1(100),B2(100),RED,NE,NC,BAN
      INTEGER      BR,NTE,AD,ADC,APT,ADT,CAM,NC1,NC2
      REAL         MVAB,KVBUS,TAPERT,TAPERS,CIC
      CHARACTER*4  RESARCH,NOM,FMUL,RESPU
      CHARACTER*12 ARCHRES,BLNK,SALIR,ARPATRI,FNORMA
      CHARACTER*12 SALID
      CHARACTER*40 LEYEN
      COMPLEX      Z,ZF
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA RED1:
C           RED,BO,KVBUS(100),NC,NE,BAN,BD,NOM
C
      COMMON/UNO/RED
      COMMON/TRES/KVBUS(100)
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA CAPTU:
C           NOM
C
      COMMON/CUATRO/NOM
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA CALCULO:
C           NOM,Z,MVAB,RED
C
      COMMON/CINCO/MVAB
      COMMON/SEIS/Z
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA TRIFAN:
C           MVAB,NOM,KVBUS(100),RED,FMUL(100),TAPERT(100)
C           TAPERS(100),CIC(100),BR,NB,NTE,ARCHRES
C
      COMMON/SIETE/TAPERT(100),TAPERS(100),CIC(100)
      COMMON/OCHO/FMUL(100)
      COMMON/DIEZ/BR,NTE
      COMMON/ONCE/NB
C
C --- ENTEROS:      RED,BO,NC,NE,BAN,BD
C
C --- REALES:      KVBUS(100),TAPERT(100),TAPERS(100),CIC(100),MVAB
C
C --- COMPLEJOS:   Z
C
C --- CHARACTER*4: FMUL(100),NOM
C
C --- CHARACTER*12 ARCHRES
C
      DATA BLNK /12H      /

```

```

DATA SALIR /12HSALIR      /
DATA SALID /12Hsalir     /
C
C --- SE DESPLIEGA EL LETRERO
C
CALL LETRE
AD=5
ADC=6
APT=11
ADT=12
NF2=15
NTE=0
ARPATRI='ZWTAC.DAT'
OPEN(UNIT=APT,FILE=ARPATRI,STATUS='OLD',IOSTAT=INDX)
IF (INDX.EQ.0) THEN
  CLOSE (UNIT=APT,STATUS='DELETE')
ELSE
  CLOSE (UNIT=APT)
ENDIF
C
C --- SE PREGUNTA POR EL ARCHIVO DE DATOS
C
1 WRITE(*,*) 'SE TIENE UN ARCHIVO CON LOS DATOS DE LOS ELEMENTOS?'
WRITE(*,5)
READ (*,40,ERR=1) RESARCH
IF ((RESARCH.EQ.'SALI').OR.(RESARCH.EQ.'sali')) STOP
IF (RESARCH.EQ.BLNK) GOTO 1
WRITE(*,6)
READ (*,41,ERR=1) FNORMA
IF ((FNORMA.EQ.SALIR).OR.(FNORMA.EQ.SALID)) STOP
IF (FNORMA.EQ.BLNK) GOTO 1
C
C --- PREGUNTA EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS
C
13 WRITE(*,7)
READ (*,41,ERR=13) ARCHRES
IF ((ARCHRES.EQ.SALIR).OR.(ARCHRES.EQ.SALID)) STOP
IF (ARCHRES.EQ.BLNK) GOTO 13
IF (FNORMA.EQ.ARCHRES) THEN
  WRITE(*,12)
  GOTO 1
ENDIF
IF ((RESARCH.NE.'NO').AND.(RESARCH.NE.'no')) THEN
C
C --- SE ABRE ARCHIVO DE DATOS
C
OPEN(UNIT=ADC,FILE=FNORMA,STATUS='OLD',IOSTAT=INDX)
IF (INDX.NE.0) THEN
  WRITE(*,*) '>>ERROR<< ARCHIVO INEXISTENTE'
  GOTO 1
ENDIF
ELSE
C
C --- SE GENERA ARCHIVO DE DATOS
C

```

```

OPEN (UNIT=AD,FILE=FNORMA,STATUS='NEW',IOSTAT=INDX)
IF (INDX.NE.0) THEN
  WRITE(*,*) '>>ERROR<<     ARCHIVO ANTERIORMENTE CREADO'
  GOTO 1
ENDIF
C
C --- DATOS GENERALES DEL SISTEMA
C
811  WRITE(*,*)
     WRITE(*,*) 'CUANTOS BUSES TIENE EL SISTEMA?'
     READ (*,*,ERR=811) NB
     WRITE(*,*) 'CUANTOS ENLACES TIENE EL SISTEMA?'
     READ (*,*,ERR=811) NE
     WRITE(*,*) 'DAME LA POTENCIA BASE DEL SISTEMA'
     WRITE(*,*) 'MVAB {MVA}'
     READ (*,*,ERR=811) MVAB
802  WRITE(*,131) NB,NE,MVAB
     WRITE(*,999)
     READ (*,40,ERR=802) RESPU
     WRITE(*,39)
     IF (RESPU.EQ.'C'.OR.RESPU.EQ.'c') THEN
     ELSE
     IF (RESPU.EQ.'M'.OR.RESPU.EQ.'m') THEN
       GOTO 811
     ELSE
     IF (RESPU.EQ.'S'.OR.RESPU.EQ.'s') THEN
       STOP
     ELSE
       GOTO 802
     ENDIF
     ENDIF
     ENDIF
     WRITE(AD,130) NB,NE,MVAB
C
C --- SE PIDEN LOS ELEMENTOS DE LOS BUSES
C
     WRITE(*,80)
     DO 600 I=1,NB
803  WRITE(*,68) I
     WRITE(*,*) 'CUAL ES LA TENSION NOMINAL DEL BUS EN KV?'
     READ (*,*,ERR=803) KVBUS(I)
C
C --- CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES
C
     WRITE(*,*)
     WRITE(*,*) '--CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES--'
C
C --- SE PREGUNTA POR EL TIPO DE FACTOR DE MULTIPLICACION
C
14   WRITE(*,11)
     READ (*,40,ERR=14) FMUL(I)
     IF ((FMUL(I).NE.'LOC').AND.(FMUL(I).NE.'REM')) THEN
       IF((FMUL(I).NE.'loc').AND.(FMUL(I).NE.'rem')) GOTO 14
     ENDIF
C

```

```

OPEN (UNIT=AD,FILE=FNORMA,STATUS='NEW',IOSTAT=INDX)
IF (INDX.NE.0) THEN
  WRITE(*,*) '>>ERROR<< ARCHIVO ANTERIORMENTE CREADO'
  GOTO 1
ENDIF
C
C --- DATOS GENERALES DEL SISTEMA
C
811  WRITE(*,*)
      WRITE(*,*) 'CUANTOS BUSES TIENE EL SISTEMA?'
      READ (*,*,ERR=811) NB
      WRITE(*,*) 'CUANTOS ENLACES TIENE EL SISTEMA?'
      READ (*,*,ERR=811) NE
      WRITE(*,*) 'DAME LA POTENCIA BASE DEL SISTEMA'
      WRITE(*,*) 'MVAB [MVA]'
      READ (*,*,ERR=811) MVAB
802  WRITE(*,131) NB,NE,MVAB
      WRITE(*,999)
      READ (*,40,ERR=802) RESPU
      WRITE(*,39)
      IF (RESPU.EQ.'C'.OR.RESPU.EQ.'c') THEN
      ELSE
        IF (RESPU.EQ.'M'.OR.RESPU.EQ.'m') THEN
          GOTO 811
        ELSE
          IF (RESPU.EQ.'S'.OR.RESPU.EQ.'s') THEN
            STOP
          ELSE
            GOTO 802
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
      WRITE(AD,130) NB,NE,MVAB
C
C --- SE PIDEN LOS ELEMENTOS DE LOS BUSES
C
      WRITE(*,80)
      DO 600 I=1,NB
803  WRITE(*,68) I
      WRITE(*,*) 'CUAL ES LA TENSION NOMINAL DEL BUS EN KV?'
      READ (*,*,ERR=803) KVBUS(I)
C
C --- CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES
C
      WRITE(*,*)
      WRITE(*,*) '--CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES--'
C
C --- SE PREGUNTA POR EL TIPO DE FACTOR DE MULTIPLICACION
C
      14  WRITE(*,11)
          READ (*,40,ERR=14) FMUL(I)
          IF ((FMUL(I).NE.'LOC').AND.(FMUL(I).NE.'REM')) THEN
            IF((FMUL(I).NE.'loc').AND.(FMUL(I).NE.'rem')) GOTO 14
          ENDIF
C

```

```

C --- SELECCION DEL TIEMPO DE APERTURA PARA LA CORRIENTE TOTAL
C
      WRITE(*,*) ' **** PARA LA CORRIENTE TOTAL:'
18    WRITE(*,17)
      WRITE(*,*) ' {1/2/3/4}'
      READ (*,*,ERR=18) TAPERT(I)
      IF ((TAPERT(I).LT.1).OR.(TAPERT(I).GT.4)) GOTO 18
C
C --- SELECCION DE EL NUMERO DE CICLOS DEL INTERRUPTOR
C
C --- (CORRIENTE SIMETRICA)
C
      CIC(I)=0
19    WRITE(*,16)
      READ (*,*,ERR=19) CIC(I)
      IF ((CIC(I).LT.2).OR.(CIC(I).GT.8)) GOTO 19
      IF (FMUL(I).EQ.'LOC') THEN
C
C --- SELECCION DEL TIEMPO DE APERTURA PARA LA CORRIENTE
C --- SIMETRICA (FAC. DE MULT. LOCAL)
C
21    WRITE(*,17)
      IF (CIC(I).EQ.8) THEN
        WRITE(*,*) ' {8/7/6/5/4}'
        READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
        IF ((TAPERS(I).LT.4).OR.(TAPERS(I).GT.8)) GOTO 21
      ELSE
        IF (CIC(I).EQ.5) THEN
          WRITE(*,*) ' {3/4/5/6}'
          READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
          IF ((TAPERS(I).LT.3).OR.(TAPERS(I).GT.6)) GOTO 21
        ELSE
          IF (CIC(I).EQ.3) THEN
            WRITE(*,*) ' {2/3/4}'
            READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
            IF ((TAPERS(I).LT.2).OR.(TAPERS(I).GT.4)) GOTO 21
          ELSE
            WRITE(*,*) ' {1.5/2}'
            READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
            IF ((TAPERS(I).NE.1.5).AND.(TAPERS(I).NE.2)) GOTO 21
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    ELSE
      ENDIF
    ELSE
C
C --- SELECCION DEL TIEMPO DE APERTURA PARA LA CORRIENTE
C --- SIMETRICA (FAC. DE MULT. REMOTO)
C
22    WRITE(*,17)
      IF (CIC(I).EQ.8) THEN
        WRITE(*,*) ' {30/24/18/12/10/8/6/4}'
        READ (*,*,ERR=22) TAPERS(I)
        IF ((TAPERS(I).LT.4).OR.(TAPERS(I).GT.30)) GOTO 22
      ELSE
        IF (CIC(I).EQ.5) THEN

```

```

C --- SELECCION DEL TIEMPO DE APERTURA PARA LA CORRIENTE TOTAL
C
      WRITE(*,*) ' **** PARA LA CORRIENTE TOTAL: '
18    WRITE(*,17)
      WRITE(*,*) ' [1/2/3/4]'
      READ (*,*,ERR=18) TAPERT(I)
      IF ((TAPERT(I).LT.1).OR.(TAPERT(I).GT.4)) GOTO 18
C
C --- SELECCION DE EL NUMERO DE CICLOS DEL INTERRUPTOR
C
C --- (CORRIENTE SIMETRICA)
C
      CIC(I)=0
19    WRITE(*,16)
      READ (*,*,ERR=19) CIC(I)
      IF ((CIC(I).LT.2).OR.(CIC(I).GT.8)) GOTO 19
      IF (FMUL(I).EQ.'LOC') THEN
C
C --- SELECCION DEL TIEMPO DE APERTURA PARA LA CORRIENTE
C --- SIMETRICA (FAC. DE MULT. LOCAL)
C
21    WRITE(*,17)
      IF (CIC(I).EQ.8) THEN
        WRITE(*,*) ' [8/7/6/5/4]'
        READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
        IF ((TAPERS(I).LT.4).OR.(TAPERS(I).GT.8)) GOTO 21
      ELSE
        IF (CIC(I).EQ.5) THEN
          WRITE(*,*) ' [3/4/5/6]'
          READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
          IF ((TAPERS(I).LT.3).OR.(TAPERS(I).GT.6)) GOTO 21
        ELSE
          IF (CIC(I).EQ.3) THEN
            WRITE(*,*) ' [2/3/4]'
            READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
            IF ((TAPERS(I).LT.2).OR.(TAPERS(I).GT.4)) GOTO 21
          ELSE
            WRITE(*,*) ' [1.5/2]'
            READ (*,*,ERR=21) TAPERS(I)
            IF ((TAPERS(I).NE.1.5).AND.(TAPERS(I).NE.2)) GOTO 21
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    ELSE
C
C --- SELECCION DEL TIEMPO DE APERTURA PARA LA CORRIENTE
C --- SIMETRICA (FAC. DE MULT. REMOTO)
C
22    WRITE(*,17)
      IF (CIC(I).EQ.8) THEN
        WRITE(*,*) ' [30/24/18/12/10/8/6/4]'
        READ (*,*,ERR=22) TAPERS(I)
        IF ((TAPERS(I).LT.4).OR.(TAPERS(I).GT.30)) GOTO 22
      ELSE
        IF (CIC(I).EQ.5) THEN

```

```

WRITE(*,*)' [12/10/8/6/4/3]'
READ (*,*,ERR=22) TAPERS(I)
IF ((TAPERS(I).LT.3).OR.(TAPERS(I).GT.12)) GOTO 22
ELSE
IF (CIC(I).EQ.3) THEN
WRITE(*,*)' [12/10/8/6/4/2]'
READ (*,*,ERR=22) TAPERS(I)
IF ((TAPERS(I).LT.2).OR.(TAPERS(I).GT.12)) GOTO 22
ELSE
WRITE(*,*)' [6/4/3/2/1.5]'
READ(*,*,ERR=22) TAPERS(I)
IF ((TAPERS(I).LT.1.5).OR.(TAPERS(I).GT.6)) GOTO 22
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)' "CUANTAS RAMAS TIENE EL BUS?'
804 READ (*,*,ERR=22) NC1
WRITE(*,114) I,KVBUS(I),NC1,FMUL(I),TAPERT(I),CIC(I),TAPERS(I)
WRITE(*,999)
READ (*,40,ERR=804) RESPU
WRITE(*,39)
IF (RESPU.EQ.'C'.OR.RESPU.EQ.'c') THEN
ELSE
IF (RESPU.EQ.'M'.OR.RESPU.EQ.'m') THEN
GOTO 803
ELSE
IF (RESPU.EQ.'S'.OR.RESPU.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 804
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,103) I,KVBUS(I),NC1,FMUL(I),TAPERT(I),TAPERS(I),CIC(I)
DO 610 J=1,NC1
806 WRITE(*,67) J,I
WRITE(*,*)' "CUANTOS ELEMENTOS EXISTEN EN ESTA RAMA?'
807 READ (*,*,ERR=806) NC2
WRITE(*,221) NC2
WRITE(*,999)
READ (*,40,ERR=807) RESPU
WRITE(*,39)
IF (RESPU.EQ.'C'.OR.RESPU.EQ.'c') THEN
ELSE
IF (RESPU.EQ.'M'.OR.RESPU.EQ.'m') THEN
GOTO 806
ELSE
IF (RESPU.EQ.'S'.OR.RESPU.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 807
ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

```

        ENDIF
        ENDIF
        WRITE(AD,20) NC2
        DO 511 K=1,NC2
C
C --- CORRE RUTINA DE CAPTURA DE DATOS
C
        CALL CAPTU (K)
511     CONTINUE
610     CONTINUE
600     CONTINUE
C
C --- SE PIDEN LOS ELEMENTOS DE LOS ENLACES
C
        WRITE(*,60)
        DO 500 I=1,NE
808     WRITE(*,8) I
        READ (*,*,ERR=808) B1(I)
        WRITE(*,9)
        READ (*,*,ERR=808) B2(I)
        IF (B1(I).GT.B2(I)) THEN
            CAM=B1(I)
            B1(I)=B2(I)
            B2(I)=CAM
        ENDIF
        WRITE(*,*) 'CUANTOS ELEMENTOS EXISTEN EN ESTE ENLACE?'
        READ (*,*,ERR=808) NC
809     WRITE(*,111) I, (I),B2(I),NC
        WRITE(*,999)
        READ (*,40,ERR=809) RESPU
        WRITE(*,39)
        IF (RESPU.EQ.'C'.OR.RESPU.EQ.'c') THEN
            ELSE
                IF (RESPU.EQ.'M'.OR.RESPU.EQ.'m') THEN
                    GOTO 808
                ELSE
                    IF (RESPU.EQ.'S'.OR.RESPU.EQ.'s') THEN
                        STOP
                    ELSE
                        GOTO 809
                    ENDIF
                ENDIF
            ENDIF
        ENDIF
        WRITE(AD,101) B1(I),B2(I),NC
        DO 510 J=1,NC
C
C --- CORRE RUTINA DE CAPTURA DE DATOS
C
        CALL CAPTU (J)
510     CONTINUE
500     CONTINUE
        CLOSE (UNIT=AD)
        OPEN(UNIT=ADC,FILE=FNORMA,STATUS='OLD',IOSTAT=INDX)
        ENDIF
C

```

```

C --- SE PREGUNTA QUE RED SE DESEA CALCULAR
C
  15 WRITE(*,*) 'QUE RED DE LA NORMA SE DESEA CALCULAR?'
    WRITE(*,*) ' {1/2/3}'
    READ (*,*,ERR=15) RED
    IF (RED.NE.1.AND.RED.NE.2.AND.RED.NE.3) GOTO 15
C
C --- SE CREA EL ARCHIVO PARA TRIFAN
C
  ARPATRI='ZWTAC.DAT'
  OPEN (UNIT=APT,FILE=ARPATRI,STATUS='NEW')
C
C --- SE CREA ARCHIVO DE RESULTADOS
C
  OPEN (UNIT=NF2,FILE=ARCHRES,STATUS='UNKNOWN')
  201 WRITE(*,*) 'CUAL ES EL TITULO DEL LISTADO?'
    READ(*,424,ERR=201) LEYEN
    BR=0
    READ (ADC,130,ERR=202) NB,NE,MVAB
    WRITE(*,425) LEYEN,RED,MVAB
    WRITE(NF2,425) LEYEN,RED,MVAB
    GOTO 203
  202 WRITE(*,250) NB,NE,MVAB
    STOP
C
C --- SE LEEN LOS ELEMENTOS DE LOS BUSES
C
  203 DO 900 I=1,NB
    READ (ADC,103,ERR=204) NNB,KVBUS(I),NC,
    -FMUL(I),TAPERT(I),TAPERS(I),CIC(I)
    GOTO 205
  204 WRITE(*,251) NNB,KVBUS(I),NC,FMUL(I),TAPERT(I),TAPERS(I),CIC(I)
    STOP
  205 DO 910 J=1,NC
    BAN=0
    READ (ADC,20,ERR=206) NC2
    GOTO 207
  206 WRITE(*,252) NC2
    STOP
  207 ZF=0
    DO 911 K=1,NC2
    READ (ADC,40,ERR=208) NOM
    GOTO 209
  208 WRITE (*,253) NOM
    STOP
C
C --- SE CORRE RUTINA PARA EL CALCULO DE IMPEDANCIAS
C
  209 CALL CALCULO
C
C --- SE CALCULA LA IMPEDANCIA RESULTANTE DEL BUS
C
  ZF=ZF+Z
  WRITE(*,10) NOM,Z
  WRITE(NF2,10) NOM,Z

```

```

C
C --- SE APLICAN RESTRICCIONES DE 2| Y 3| RED
C
      IF (RED.EQ.2) THEN
        IF (NOM.EQ.'MTIA'.OR.NOM.EQ.'mtia') THEN
          BAN=1
        ENDIF
      ELSE
        IF (RED.EQ.3) THEN
          IF((NOM.EQ.'MTIN').OR.(NOM.EQ.'MTSI').OR.(NOM.EQ.'MTIA')) THEN
            BAN=1
          ELSE
            IF(NOM.EQ.'mtin'.OR.NOM.EQ.'mtsi'.OR.NOM.EQ.'mtia') BAN=1
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
911   CONTINUE
      IF (BAN.EQ.1) GOTO 910
C
C --- SE ESCRIBE LA IMPEDANCIA RESULTANTE EN EL ARCHIVO PARA TRIFA
C
      NTE=NTE+1
      WRITE(APT,104) BR,NNB,ZF,NOM
910   CONTINUE
900   CONTINUE
      DO 800 I=1,NE
        ZF=0
        READ (ADC,101,ERR=210) B1(I),B2(I),NC
        GOTO 211
210   WRITE(*,254) B1(I),B2(I),NC
        STOP
211   DO 801 J=1,NC
        READ (ADC,40,ERR=212) NOM
        GOTO 213
212   WRITE (*,253) NOM
        STOP
C
C --- SE CORRE RUTINA PARA EL CALCULO DE IMPEDANCIAS
C
213   CALL CALCULO
C
C --- SE CALCULA LA IMPEDANCIA RESULTANTE DEL ENLACE
C
      ZF=ZF+Z
      WRITE(*,10) NOM,Z
      WRITE(NF2,10) NOM,Z
801   CONTINUE
C
C --- SE ESCRIBE LA IMPEOANCIA RESULTANTE EN EL ARCHIVO PARA TRIFA
C
      NTE=NTE+1
      WRITE(APT,104) B1(I),B2(I),ZF,NOM
800   CONTINUE
C
C --- SE CIERRA EL ARCHIVO PARA TRIFA

```

```

C      CLOSE (UNIT=APT)
C
C --- SE CORRE TRIFAN
C
C      CALL TRIFAN
C
C --- FORMATOS
C
5 FORMAT (1X, '      SI/NO -->', $)
6 FORMAT (//, 1X, 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS: (nombre.ext) -->', $)
7 FORMAT (//, 1X, 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS: (nombre.ext) -->'
-, $)
8 FORMAT (///, ' ENLACE N$', I3, ///, 1X, 'DEL BUS :', $)
9 FORMAT (//, 1X, ' AL BUS :', $)
10 FORMAT (20X, A4, 4X, F9.4, 2X, F9.4)
11 FORMAT (/, ' "QUE TIPO DE FACTOR DE MULTIPLICACION SE VA A',
- ' UTILIZAR?', /, ' [LOC/REM]')
12 FORMAT (//, 1X, ' ERROR:', /, 10X, 'EL ARCHIVO DE DATOS Y EL ',
- 'ARCHIVO DE RESULTADOS:', /, 10X, 'NO PUEDEN LLEVAR EL MISMO ',
- 'NOMBRE')
16 FORMAT (/, ' **** PARA LA CORRIENTE SIMETRICA, ', /, ' "DE CUANTOS ',
- 'CICLOS SON LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA?', /, ' [8/5/3/2]')
17 FORMAT (/, ' "DE CUANTOS CICLOS ES EL TIEMPO DE APERTURA', /,
- ' DE LOS CONTACTOS DE LOS INTERRUPTORES?')
20 FORMAT (I3)
252 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X, I3)
221 FORMAT (4(/), 18X, 'VERIFICACION', /, 2X, 'N$ DE ELEMENTOS EN LA ',
- ' RAMA: ', I3, 10(//))
23 FORMAT (///, ' ARCHIVO DE DATOS: ', A12, /, ' RED: ', I3, ///)
39 FORMAT (20(//))
40 FORMAT (A4)
253 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X, A4)
41 FORMAT (A12)
60 FORMAT (5(/), 3X, ' - - ELEMENTOS EN LOS ENLACES - -')
67 FORMAT (/, ' DATOS DE LA RAMA: ', I3, ' DEL BUS: ', I3, /)
68 FORMAT (/, ' DATOS DEL BUS: ', I3, /)
80 FORMAT (////, 3X, ' - - ELEMENTOS EN LOS BUSES - -')
100 FORMAT (2(I3, 1X), 2(F10.5, 1X))
101 FORMAT (3(I3, 1X))
254 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X, 3(I3, 1X))
103 FORMAT (I3, 1X, F10.5, 1X, I3, 1X, A4, 3(1X, F10.5))
251 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X
-, I3, 1X, F10.5, 1X, I3, 1X, A4, 3(1X, F10.5))
104 FORMAT (1X, I3, 1X, I3, 1X, F10.5, 1X, F10.5, 1X, A4)
111 FORMAT (4(/), 18X, 'VERIFICACION', /, 2X, 'ENLACE: ', I3, ///, 19X,
- 'BUS ORIGEN: ', I3, /, 18X, 'BUS DESTINO: ', I3, /, 5X,
- 'N$ DE ELEMENTOS EN SERIE: ', I3, 5(//))
114 FORMAT (4(/), 10X, 'VERIFICACION', /, 2X, 'BUS: ', I3, /, 15X,
- 'VOLTAJE DEL BUS: ', F10.5, ' [KV]', /, 19X, 'N$ DE RAMAS: ', I3, /, 6X,
- 'FACTOR DE MULTIPLICACION:', 4X, A4, /, 3X, 'N$ DE CICLOS DE ',
- 'TIEMPO DE', /, 5X, 'APERT. PARA CORRIENTE TOT: ', F10.5, /, 3X,
- 'N$ DE CICLOS DE LOS', /, 5X, 'INTERRUPTORES DE POTENCIA: ', F10.5,
- /, 3X, 'N$ DE CICLOS DE TIEMPO DE', /, 5X, 'APERT. PARA CORRIENTE',
- ' SIM: ', F10.5)

```

```

C      CLOSE (UNIT=APT)
C
C --- SE CORRE TRIFAN
C
C      CALL TRIFAN
C
C --- FORMATOS
C
5 FORMAT (1X, '          SI/NO -->', $)
6 FORMAT (//, 1X, 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS: (nombre.ext) -->', $)
7 FORMAT (//, 1X, 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS: (nombre.ext) -->'
-, $)
8 FORMAT (///, ' ENLACE N$', I3, ///, 1X, 'DEL BUS :', $)
9 FORMAT (//, 1X, ' AL BUS :', $)
10 FORMAT (20X, A4, 4X, F9.4, 2X, F9.4)
11 FORMAT (/, ' "QUE TIPO DE FACTOR DE MULTIPLICACION SE VA A',
-' UTILIZAR?', /, ' {LOC/REM}')
12 FORMAT (//, 1X, ' ERROR:', /, 10X, 'EL ARCHIVO DE DATOS Y EL ',
-'ARCHIVO DE RESULTADOS,', /, 10X, 'NO PUEDEN LLEVAR EL MISMO ',
-'NOMBRE')
16 FORMAT (/, ' **** PARA LA CORRIENTE SIMETRICA, /, ' "DE CUANTOS ',
-'CICLOS SON LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA?', /, ' {8/5/3/2}')
17 FORMAT (/, ' "DE CUANTOS CICLOS ES EL TIEMPO DE APERTURA', /,
-' DE LOS CONTACTOS DE LOS INTERRUPTORES?')
20 FORMAT (I3)
252 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X, I3)
221 FORMAT (4(/), 18X, 'VERIFICACION', /, 2X, 'N$ DE ELEMENTOS EN LA ',
-' RAMA: ', I3, 10(/))
23 FORMAT (///, ' ARCHIVO DE DATOS: ', A12, /, ' RED: ', I3, ///)
39 FORMAT (20(/))
40 FORMAT (A4)
253 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X, A4)
41 FORMAT (A12)
60 FORMAT (5(/), 3X, ' - - ELEMENTOS EN LOS ENLACES - -')
67 FORMAT (/, ' DATOS OE LA RAMA: ', I3, ' DEL BUS: ', I3, /)
68 FORMAT (/, ' DATOS DEL BUS: ', I3, /)
80 FORMAT (/////, 3X, ' - - ELEMENTOS EN LOS BUSES - -')
100 FORMAT (2(I3, 1X), 2(F10.5, 1X))
101 FORMAT (3(I3, 1X))
254 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X, 3(I3, 1X))
103 FORMAT (I3, 1X, F10.5, 1X, I3, 1X, A4, 3(1X, F10.5))
251 FORMAT (4(/), 18X, 'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:', /, 5X
-, I3, 1X, F10.5, 1X, I3, 1X, A4, 3(1X, F10.5))
104 FORMAT (1X, I3, 1X, I3, 1X, F10.5, 1X, F10.5, 1X, A4)
111 FORMAT (4(/), 18X, 'VERIFICACION', /, 2X, 'ENLACE: ', I3, ///, 19X,
-'BUS ORIGEN: ', I3, ///, 18X, 'BUS DESTINO: ', I3, ///, 5X,
-'N$ DE ELEMENTOS EN SERIE: ', I3, 5(/))
114 FORMAT (4(/), 10X, 'VERIFICACION', /, 2X, 'BUS: ', I3, ///, 15X,
-'VOLTAJE DEL BUS: ', F10.5, ' [KV]', /, 19X, 'N$ DE RAMAS: ', I3, ///, 6X,
-'FACTOR DE MULTIPLICACION:', 4X, A4, ///, 3X, 'N$ DE CICLOS DE ',
-'TIEMPO DE', /, 5X, 'APERT. PARA CORRIENTE TOT: ', F10.5, /, 3X,
-'N$ DE CICLOS DE LOS', /, 5X, 'INTERRUPTORES DE POTENCIA: ', F10.5,
-/ , 3X, 'N$ DE CICLOS DE TIEMPO DE', /, 5X, 'APERT. PARA CORRIENTE',
-' SIM: ', F10.5)

```

```
130 FORMAT (2(I3,1X),F10.5)
250 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,2(I3,1X),F10.5)
131 FORMAT (4(/),18X,'VERIFICACION',//,2X,'DATOS GENERALES:',//,5X
-,'  NŞ DE BUSES: ',I3,/,5X,' NŞ DE ENLACES: ',I3,/,5X,
-' POTENCIA BASE: ',F10.5,' [MVA]',5(/))
424 FORMAT (A40)
425 FORMAT (19X,'APLICACION DE LA NORMA ANSI/IEEE 141 DE 1993',//,
-15X,A40,/,15X,'RED: ',I3,14X,'POTENCIA BASE: ',F9.3,' [MVA]'
-,//,20X,'CANTIDADES EN POR UNIDAD',
-//,18X,'ELEMENTO',6X,'Rpu',8X,'Xpu')
999 FORMAT (3(/),15X,'  DATOS CORRECTOS: C',/,15X,
-' DATOS INCORRECTOS: M',/,15X,'SALIR DEL PROGRAMA: S',//,
-22X,'COMANDO? --->',)$)
END
```

SUBROUTINA LETRE.

```

SUBROUTINE LETRE
  LETRERO DEL PROGRAMA NORMA
  WRITE (*,1)
  WRITE (*,2)
  READ (*,*)
  WRITE (*,3)
  READ (*,*)
  WRITE (*,5)
1 FORMAT(5(/),12X,'00 00',3X,8('0'),3X,7('0'),'Y 00 00'
-,3X,8('0'),/,11X,'0000 000',2(' ',8('0')),1X,'0000 000',
-, ' ',8('0'),/,11X,'0000 000',2(' '0000000'),1X,2('0000')
-, '0000000',/,11X,'00000 000',2('00 000'),' ',8('0')
-, '00 000',/,11X,'0000 000','00 ',2('000'),6('0'),
-2X,3('00'),' ',8('0'))
2 FORMAT(11X,3('00'),'00 ',2('000'),5('0'),'Y',2X,
-3('00'),' ',8('0'),/,11X,'000',2('00'),'0 00 ',
-2('000'),'0000 0000 0000000',/,10X,2('000'),'00 ',
-, '00 ',2('000'),'00Y 00 ',2('000'),'000',/,11X,
-'00 0000',4('00 000'),/,11X,'00 0000 ',8('0'),
-3('00 000'),/,11X,'00 000 ',8('0'),3('00 000')
-,/,11X,'00 ',2('00'),6('0'),3(3X,'00 00'),6(/),24X,
-'ANALISIS DE CORTO CIRCUITO',/,15X,'APLICACION DE LA NORMA ',
-'ANSI/IEEE 141 DE 1993',///)
3 FORMAT(15(/),5X,'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO',
-/,13X,'FACULTAD DE INGENIERIA',/,6X,'DEPARTAMENTO DE ',
-'INGENIERIA ELECTRICA',7(/),25X,'DIRECCION:',
-/,45X,'ING. ARTURO MORALES COLLANTES',
-/,45X,'ING. RAMON VILA VIVALDO',
-/,25X,'PARTICIPANTES:',
-/,45X,'HUMBERTO LABRA GARCIA',
-/,45X,'ARTURO PALACIOS URIBE',/)
5 FORMAT(25(/))
  RETURN
  END.

```

SUBROUTINA CAPTU.

```

SUBROUTINE CAPTU (K)
C
C --- RUTINA DE CAPTURA DE DATOS
C
C --- DECLARACIONES
C
      INTEGER      AD,K
      REAL         A,B,C,D,F,G,H,S,T
      CHARACTER*4  NOM,R
      CHARACTER*14 MAT
C
C --- VARIABLE DE PROGRAMA NORNA, TIPO CHARACTER*4
C
      COMMON/CUATRO/NOM
C
      AD = 5
C
C --- CAPTURA DE DATOS Y CALCULO DE IMPEDANCIAS
C
      GOTO 1
200 WRITE(*,201) NOM
      READ(*,*,ERR=1)
      1 WRITE(*,70) K,K
      READ (*,40,ERR=202) NOM
      IF (NOM.EQ.'SUMI'.OR.NOM.EQ.'sumi') THEN
        WRITE(*,*) ' CUAL ES LA POTENCIA DE CORTO CIRCUITO'
        WRITE(*,*) ' DE LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA?'
        WRITE(*,*) ' MVacc [MVA]'
        READ (*,*,ERR=200) A
        WRITE(*,*) ' DAME EL VOLTAJE NOMINAL'
        WRITE(*,*) ' Vnom [KV]'
        READ (*,*,ERR=200) B
        WRITE(*,*) ' CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
        WRITE(*,*) ' VB [KV]'
        READ (*,*,ERR=200) C
        WRITE(*,*) ' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
        READ (*,*,ERR=200) D
C --- VERIFICACION
      B01 WRITE(*,210) K,A,B,C,D
          WRITE(*,999)
          READ (*,40,ERR=B01) R
          WRITE(*,39)
          IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
            ELSE
              IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
                GOTO 1
              ELSE
                IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
                  STOP
                ELSE
                  GOTO B01
                ENDIF
          ENDIF

```

```

    ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,40) NOM
WRITE(AD,110) A,B,C,D
ELSE
IF (NOM.EQ.'TRAN'.OR.NOM.EQ.'tran') THEN
WRITE(*,*)' DAME LA POTENCIA NOMINAL DEL TRANSFORMADOR'
WRITE(*,*)' Snom [MVA]'
READ (*,*,ERR=200) A
WRITE(*,*)' DAME EL VOLTAJE NOMINAL DEL PRIMARIO'
WRITE(*,*)' Vprim [KV]'
READ (*,*,ERR=200) B
WRITE(*,*)' "CUAL ES EL VOLTAJE BASE EN EL PRIMARIO?'
WRITE(*,*)' VBprim [KV]'
READ (*,*,ERR=200) C
WRITE(*,*)' DAME LA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR'
WRITE(*,*)' Z [%]'
READ (*,*,ERR=200) D
WRITE(*,*)' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
WRITE(*,*)'           EN CASO DE QUE DESCONOZCA,'
WRITE(*,*)'           INDICALO CON UN CERO: 0'
READ (*,*,ERR=200) E
C --- VERIFICACION
802 WRITE(*,215) K,A,B,C,D,E
WRITE(*,999)
READ (*,40,ERR=802) R
WRITE(*,39)
IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
ELSE
IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
GOTO 1
ELSE
IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 802
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,40) NOM
WRITE(AD,115) A,B,C,D,E
ELSE
IF (NOM.EQ.'MTIN'.OR.NOM.EQ.'mtin') THEN
WRITE(*,*)' DAME LA POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR DE INDUCCION'
WRITE(*,*)' Pnom [HP]'
READ (*,*,ERR=200) A
WRITE(*,*)' DAME EL VOLTAJE NOMINAL DEL MOTOR'
WRITE(*,*)' Vnom [KV]'
READ (*,*,ERR=200) B
WRITE(*,*)' "CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
WRITE(*,*)' VB [KV]'
READ (*,*,ERR=200) C
WRITE(*,*)' DAME EL FACTOR DE POTENCIA'
READ (*,*,ERR=200) D
WRITE(*,*)' DAME LA EFICIENCIA'

```

```

WRITE(*,*) ' EFIC'
READ (*,*,ERR=200) E
WRITE(*,*) ' DAME LAS REVOLUCIONES POR MINUTO'
READ (*,*,ERR=200) F
WRITE(*,*) ' DAME LA CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO.'
WRITE(*,*) '          EN CASO DE QUE SE DESCONOZCA'
WRITE(*,*) '          INDICARLO CON UN CERO: 0'
WRITE(*,*) ' Irb [Pu]'
READ (*,*,ERR=200) G
WRITE(*,*) ' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
WRITE(*,*) '          EN CASO DE QUE SE DESCONOZCA,'
WRITE(*,*) '          INDICARLO CON UN CERO: 0'
READ (*,*,ERR=200) H
C --- VERIFICACION
803  WRITE(*,212) K,A,E,B,F,C,G,D,H
      WRITE(*,999)
      READ (*,40,ERR=803) R
      WRITE(*,39)
      IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
      ELSE
      IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
        GOTO 1
      ELSE
        IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
          STOP
        ELSE
          GOTO 803
        ENDIF
      ENDIF
      WRITE(AD,40) NOM
      WRITE(AD,112) A,B,C,D,E,F,G,H
      ELSE
      IF (NOM.EQ.'MTSI'.OR.NOM.EQ.'mtsi') THEN
        WRITE(*,*) ' DAME LA POTENCIA DEL MOTOR SINCRONO'
        WRITE(*,*) ' Pnom [HP]'
        READ (*,*,ERR=200) A
        WRITE(*,*) ' DAME EL VOLTAJE NOMINAL DEL MOTOR'
        WRITE(*,*) ' Vnom [KV]'
        READ (*,*,ERR=200) B
        WRITE(*,*) ' "CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
        WRITE(*,*) ' VB [KV]'
        READ (*,*,ERR=200) C
        WRITE(*,*) ' DAME EL FACTOR DE POTENCIA DEL MOTOR'
        WRITE(*,*) ' FP'
        READ (*,*,ERR=200) D
        WRITE(*,*) ' DAME LA EFICIENCIA DEL MOTOR'
        WRITE(*,*) ' EFIC'
        READ (*,*,ERR=200) E
        WRITE(*,*) ' DAME LAS REVOLUCIONES POR MINUTO'
        WRITE(*,*) ' REV/MIN'
        READ (*,*,ERR=200) F
        WRITE(*,*) ' DAME LA REACTANCIA SUBTRANSITORIA DEL MOTOR'
        WRITE(*,*) ' X"d [pu]'
        READ (*,*,ERR=200) G

```

```

WRITE(*,*) ' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
WRITE(*,*) ' EN CASO DE QUE SE DESCANOZCA,'
WRITE(*,*) ' INDICARLO CON UN CERO'
READ (*,*,ERR=200) H
C --- VERIFICACION
804 WRITE(*,213) K,A,E,B,F,C,G,D,H
WRITE(*,999)
READ (*,40,ERR=804) R
WRITE(*,39)
IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
ELSE
IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
GOTO 1
ELSE
IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 804
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,40) NOM
WRITE(AD,112) A,B,C,D,E,F,G,H
ELSE
IF (NOM.EQ.'CABL'.OR.NOM.EQ.'cabl') THEN
WRITE(*,*) ' DAME EL NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE'
READ (*,*,ERR=200) A
WRITE(*,*) ' DAME EL DIAMETRO DEL ALIMENTADOR'
WRITE(*,*) ' DIAM {MCM}'
READ (*,*,ERR=200) B
WRITE(*,*) ' DAME LA LONGITUD DEL ALIMENTADOR'
WRITE(*,*) ' LONG {ft}'
READ (*,*,ERR=200) C
WRITE(*,*) ' 'CUANTO VALE LA RELACION XMG/XNMG?'
READ (*,*,ERR=200) D
WRITE(*,*) ' 'CUAL ES EL MATERIAL DEL ALIMENTADOR?'
WRITE(*,*) ' (1) COBRE RECOCIDO'
WRITE(*,*) ' (2) COBRE ESTIRADO'
WRITE(*,*) ' (3) ALUMINIO'
READ (*,*,ERR=200) E
IF(E.EQ.3) THEN
MAT='ALUMINIO'
ELSE
IF(E.EQ.2) THEN
MAT='COBRE ESTIRADO'
ELSE
E=1
MAT='COBRE RECOCIDO'
ENDIF
ENDIF
WRITE(*,*) ' 'CUAL ES EL ESPACIAMIENTO'
WRITE(*,*) ' EN DELTA DEL ALIMENTADOR?'
WRITE(*,*) ' DMG {pulg}'
READ (*,*,ERR=200) F
WRITE(*,*) ' 'CUAL ES LA REACTANCIA DEL ALIMENTADOR'

```

```

WRITE(*,*) ' A UN PIE DE ESPARCIMIENTO Y A 60 Hz?'
WRITE(*,*) ' XA [ø/COND/1000 PIES]'
READ(*,*,ERR=200) G
WRITE(*,*) ' "CUAL ES LA RESISTENCIA?'
WRITE(*,*) ' R [ø/COND/1000 PIES] A 50øC'
READ(*,*,ERR=200) H
WRITE(*,*) ' "CUAL ES EL VOLTAJE NOMINAL?'
WRITE(*,*) ' Vnom [KV]'
READ(*,*,ERR=200) S
WRITE(*,*) ' "A CUAL TEMPERATURA SE DESEA TRANSFERIR?'
WRITE(*,*) ' T [øC]'
READ(*,*,ERR=200) T
C --- VERIFICACION
805 WRITE(*,214) K,A,F,B,G,C,H,D,S,MAT,T
WRITE(*,999)
READ(*,40,ERR=805) R
WRITE(*,39)
IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
ELSE
IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
GOTO 1
ELSE
IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 805
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,40) NOM
WRITE(AD,114) A,S,C,D,E,F,G,H,S,T
ELSE
IF (NOM.EQ.'REAC'.OR.NOM.EQ.'reac') THEN
WRITE(*,*) ' "CUAL ES LA IMPEDANCIA DEL REACTOR?'
WRITE(*,*) ' Z [ø]'
READ(*,*,ERR=200) A
WRITE(*,*) ' "CUAL ES LA VOLTAJE BASE?'
WRITE(*,*) ' VB [KV]'
READ(*,*,ERR=200) B
WRITE(*,*) ' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
READ(*,*,ERR=200) C
C --- VERIFICACION
810 WRITE(*,217) K,A,B,C
WRITE(*,999)
READ(*,40,ERR=810) R
WRITE(*,39)
IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
ELSE
IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
GOTO 1
ELSE
IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 810

```

```

      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
  WRITE(AD,40) NOM
  WRITE(AD,116) A,B,C
  ELSE
    IF (NOM.EQ.'DATO'.OR.NOM.EQ.'dato') THEN
      WRITE(*,*) ' DAME EL VALOR DE LA RESISTENCIA'
      WRITE(*,*) ' R [é]'
      READ (*,*,ERR=200) A
      WRITE(*,*) ' "CUAL ES EL VALOR DE LA REACTANCIA?'
      WRITE(*,*) ' X [é]'
      READ (*,*,ERR=200) B
      WRITE(*,*) ' "CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
      WRITE(*,*) ' VB {KV}'
      READ (*,*,ERR=200) C
    C --- VERIFICACION
    806  WRITE(*,216) K,A,B,C
        WRITE(*,999)
        READ (*,40,ERR=806) R
        WRITE(*,39)
        IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
          ELSE
            IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
              GOTO 1
            ELSE
              IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
                STOP
              ELSE
                GOTO 806
              ENDIF
            ENDIF
          ENDIF
        ENDIF
        WRITE(AD,40) NOM
        WRITE(AD,116) A,B,C
      ELSE
        IF (NOM.EQ.'GENE'.OR.NOM.EQ.'gene') THEN
          WRITE(*,*) ' "CUAL ES LA POTENCIA DEL GENERADOR?'
          WRITE(*,*) ' Snom {MVA}'
          READ (*,*,ERR=200) A
          WRITE(*,*) ' "CUAL ES SU VOLTAJE NOMINAL?'
          WRITE(*,*) ' Vnom {KV}'
          READ (*,*,ERR=200) B
          WRITE(*,*) ' "CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
          WRITE(*,*) ' VB {KV}'
          READ (*,*,ERR=200) C
          WRITE(*,*) ' "CUAL ES LA REACTANCIA SUBTRANSITORIA?'
          WRITE(*,*) ' X" d {pu}'
          READ (*,*,ERR=200) D
          WRITE(*,*) ' "CUAL ES LA REACTANCIA TRANSITORIA?'
          WRITE(*,*) ' X" d {pu}'
          READ (*,*,ERR=200) E
          WRITE(*,*) ' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
          WRITE(*,*) ' EN CASO DE QUE SE DESCONOZCA,'
          WRITE(*,*) ' SE PUEDE SUSTITUIR POR LAS'
        
```

```

WRITE(*,*)'          REVOLUCIONES POR MINUTO.'
WRITE(*,*)'          SI TAMBIEN ESTAS SE DESCONOCEN,'
WRITE(*,*)'          SE PUEDE INDICAR CON CERO'
READ (*,*,ERR=200) F
C --- VERIFICACION
807 WRITE(*,211) K,A,D,B,E,C,F
WRITE(*,999)
READ (*,4D,ERR=8D7) R
WRITE(*,39)
IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
ELSE
IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
GOTO 1
ELSE
IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
STOP
ELSE
GOTO 8D7
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,4D) NOM
WRITE(AD,111) A,B,C,D,E,F
ELSE
IF (NOM.EQ.'MTIA'.OR.NOM.EQ.'mtia') THEN
WRITE(*,*)' DAME LA SUMA TOTAL DE POTENCIAS'
WRITE(*,*)' ãP [HP]'
READ (*,*,ERR=2D0) A
WRITE(*,*)' "CUAL ES EL VOLTAJE NOMINAL?'
WRITE(*,*)' Vnom [KV]'
READ (*,*,ERR=200) B
WRITE(*,*)' "CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
WRITE(*,*)' VB [KV]'
READ (*,*,ERR=2D0) C
WRITE(*,*)' "CUAL ES LA CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO?'
WRITE(*,*)'          EN CASO DE QUE SE DESCONOZCA'
WRITE(*,*)'          INDICARLO CON UN CERO: 0'
WRITE(*,*)' Irb [pu]'
READ (*,*,ERR=2D0) D
WRITE(*,*)' DAME EL VALOR DE LA RELACION X/R'
WRITE(*,*)'          EN CASO DE QUE SE DESCONOZCA,'
WRITE(*,*)'          INDICARLO CON UN CERO: D'
READ (*,*,ERR=200) E
C --- VERIFICACION
808 WRITE(*,225) K,A,B,C,D,E
WRITE(*,999)
READ (*,40,ERR=808) R
WRITE(*,39)
IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
ELSE
IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
GOTO 1
ELSE
IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
STOP

```

```

ELSE
  GOTO 808
ENDIF
ENDIF
ENDIF
WRITE(AD,40) NOM
WRITE(AD,115) A,B,C,D,E
ELSE
  IF (NOM.EQ.'DATP'.OR.NOM.EQ.'datp') THEN
    WRITE(*,*) ' CUAL ES LA RESISTENCIA DEL ELEMENTO?'
    WRITE(*,*) ' R [pu]'
    READ (*,*,ERR=200) A
    WRITE(*,*) ' CUAL ES LA REACTANCIA DEL ELEMENTO?'
    WRITE(*,*) ' X [pu]'
    READ (*,*,ERR=200) B
    WRITE(*,*) ' CUAL ES LA POTENCIA NOMINAL?'
    WRITE(*,*) ' Snom [MVA]'
    READ (*,*,ERR=200) C
    WRITE(*,*) ' CUAL ES EL VOLTAJE NOMINAL?'
    WRITE(*,*) ' Vnom [KV]'
    READ (*,*,ERR=200) D
    WRITE(*,*) ' CUAL ES EL VOLTAJE BASE?'
    WRITE(*,*) ' VB [KV]'
    READ (*,*,ERR=200) E
  C --- VERIFICACION
  809 WRITE(*,226) K,A,B,C,D,E
    WRITE(*,999)
    READ (*,40,ERR=809) R
    WRITE(*,39)
    IF(R.EQ.'C'.OR.R.EQ.'c') THEN
      ELSE
        IF(R.EQ.'M'.OR.R.EQ.'m') THEN
          GOTO 1
        ELSE
          IF(R.EQ.'S'.OR.R.EQ.'s') THEN
            STOP
          ELSE
            GOTO 809
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    WRITE(AD,40) NOM
    WRITE(AD,115) A,B,C,D,E
  ELSE
  202 WRITE(*,*)
    WRITE(*,*) ' ERROR EN LA NOMENCLATURA '
    WRITE(*,*) ' DEL ELEMENTO'
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)
  
```

```

WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)' OPRIMA "ENTER" PARA CONTINUAR'
READ(*,*,ERR=1)
GOTO 1
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
C
C --- FORMATOS
C
39 FORMAT (20(/))
40 FORMAT (A4)
70 FORMAT (6(/), 'ELEMENTO N$', I3, 3(/), 4X, 'SUMI = APORTACION DE',
- ' LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA', /, 4X, 'TRAN = TRANSFORMADOR DE',
- ' DOS DEVANADOS', /, 4X, 'MTIN = MOTOR DE INDUCCION', /, 4X,
- ' MTSI = MOTOR SINCRONO', /, 4X, 'CABL = CABLE', /, 4X, 'REAC ',
- ' = REACTOR', /, 4X, 'DATO = DATO CONOCIDO {é}', /, 4X, 'GENE ',
- ' = GENERADOR', /, 4X, 'MTIA = MOTORES DE INDUCCION AGRUPADOS',
- /, 4X, 'DATP = DATO CONOCID', 'O {PU}', 9(/), 2X, 'EL ELEMENTO ',
- I3, ' ES: -->', $)
110 FORMAT (4(F10.5, 1X))
111 FORMAT (6(F10.5, 1X))
112 FORMAT (8(F10.5, 1X))
114 FORMAT (10(F10.5, 1X))
115 FORMAT (5(F10.5, 1X))
116 FORMAT (3(F10.5, 1X))
201 FORMAT (6(/), 'DATO INCORRECTO, RECAPTURAR TODA LA '
- ' INFORMACION DEL ELEMENTO ', A4, 20(/), 5X, ' (OPRIMA "ENTER" PARA'
- ' CONTINUAR')
210 FORMAT (4(/), 15X, 'VERIFICACION', //, 2X, 'ELEMENTO N| ', I3, //, 5X,
- ' APORTACION DE LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA', ///, 5X, 'MVAcc = ',
- F10.5, ' [MVA]', //, 5X, 'Vnom = ', F10.5, ' [KV]', //, 5X, 'VB = '
- ', ', F10.5, ' [KV]', //, 5X, 'X/R = ', F10.5)
211 FORMAT (4(/), 15X, 'VERIFICACION', //, 2X, 'ELEMENTO N| ', I3, //, 5X,
- 'GENERADOR', /
- //, 5X, 'Snom = ', F10.5, ' [MVA]', 5X, 'X`d = ', F10.5, ' [pu]',
- //, 5X, 'Vnom = ', F10.5, ' [KV]', 6X, 'X`d = ', F10.5, ' [pu]',
- //, 5X, 'VB = ', F10.5, ' [KV]', 6X, 'X/R = ', F10.5, //)
212 FORMAT (4(/), 15X, 'VERIFICACION', //, 2X, 'ELEMENTO N| ', I3, //, 5X,
- 'MOTOR DE INDUCCION', ///, 5X, 'Pnom = ', F10.5, ' [HP]', 6X,
- ' EFIC = ', F10.5, //, 5X, 'Vnom = ', F10.5, ' [KV]', 6X, 'REV'
- ', /MIN = ', F10.5, //, 5X, 'VB = ', F10.5, ' [KV]', 6X, 'I'
- ', rb = ', F10.5, //, 5X, 'FP = ', F10.5, 15X, 'X/R = ', F10.5)
213 FORMAT (4(/), 15X, 'VERIFICACION', //, 2X, 'ELEMENTO N| ', I3, //, 5X,

```

```

-MOTOR SINCRONO',///,5X,' Pnom = ',F10.5,' [HP]',9X,
-EPIC = ',F10.5,///,5X,' Vnom = ',F10.5,' [KV]',6X,
-REV/MIN = ',F10.5,///,5X,' VB = ',F10.5,' [KV]',10X,
-X"d = ',F10.5,///,5X,' FP = ',F10.5,11X,' X/R = ',
-F10.5)
214 FORMAT (4(/),15X,'VERIFICACION',///,2X,'ELEMENTO N| ',I3,///,5X,
-CABLE',///,2X,'COND/FASE = ',F10.5,12X,'DMG = ',F10.5,
- [pulg]',///,7X,'DIAM = ',F10.5,' [MCM]',7X,'XA = ',F10.5,
- [è/COND/1000 PIES]',///,7X,'LONG = ',F10.5,' [ft]',9X,'R = '
-,F10.5,' [è/COND/1000 PIES] A 50øC',///,3X,'XMG/XNMG = ',F10.5
-,11X,'Vnom = ',F10.5,' [KV]',///,3X,'MATERIAL = ',4X,A14,7X,
-T = ',F10.5,' [øC]')
215 FORMAT (4(/),15X,'VERIFICACION',///,2X,'ELEMENTO N| ',I3,///,5X,
-TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS',///,5X,' Snom = ',F10.5,
-[MVA]',///,5X,' Vprim = ',F10.5,' [KV]',///,5X,'VBprim = '
-,F10.5,' [KV]',///,5X,' Z = ',F10.5,' [%]',///,5X,' X/R = '
-,',F10.5)
216 FORMAT (4(/),15X,'VERIFICACION',///,2X,'ELEMENTO N| ',I3,///,5X,
-DATO CONOCIDO EN OHMS',///,5X,' R = ',F10.5,' [è]',///,5X,
- X = ',F10.5,' [è]',///,5X,'VB = ',F10.5,' [KV]',///)
217 FORMAT (4(/),15X,'VERIFICACION',///,2X,'ELEMENTO N| ',I3,///,5X,
-REACTOR',///,5X,' Z = ',F10.5,' [è]',///,5X,' VB = ',F10.5,
-[KV]',///,5X,'X/R = ',F10.5,///)
225 FORMAT (4(/),15X,'VERIFICACION',///,2X,'ELEMENTO N| ',I3,///,5X,
-MOTORES DE INDUCCION AGRUPADOS',///,5X,' äHP = ',F10.5,' [HP'
-,)',///,5X,'Vnom = ',F10.5,' [KV]',///,5X,' VB = ',F10.5,' ',
-[KV]',///,5X,' Irb = ',F10.5,' [pu]',///,5X,' X/R = ',F10.5)
226 FORMAT (4(/),15X,'VERIFICACION',///,2X,'ELEMENTO N| ',I3,///,5X,
-DATO CONOCIDO EN pu',///,5X,' R = ',F10.5,' [pu]',///,5X,
- X = ',F10.5,' [pu]',///,5X,'Snom = ',F10.5,' [MVA]',///,
-5X,'Vnom = ',F10.5,' [KV]',///,5X,' VB = ',F10.5,' [KV]')
999 FORMAT (3(/),15X,'DATOS CORRECTOS: C',/,15X,
-DATOS INCORRECTOS: M',/,15X,'SALIR DEL PROGRAMA: S',///,22X,
-""COMANDO? -->',$,)
RETURN
END

```

SUBROUTINA CÁLCULO.

```

SUBROUTINE CALCULO
C
C --- SUBROUTINA DE CALCULO DE IMPEDANCIAS
C
C --- DECLARACIONES
C
      INTEGER      ADC,APT,NUM,RED
      REAL          MVAcc,KVcc,KVB,Zpu,Rpu,MVAT,KVTP,ZT,XR,KVA,ZR
      REAL          HP,KVM,FP,EFIC,IRB,FAC,X,R,XXD,NUC,REVMIN
      REAL          A,FT,RD,MK,D,XA,RC,KV,GR,GD,K,KB,KVG,XD,MVA,Xpu
      REAL          HPT(28),XRT(28),MVAB
      COMPLEX       Z
      CHARACTER*4   NOM
C
C --- VARIABLES DE PROGRAMA NORMA:
C          NOM,Z,MVAB,RED
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA XRGYSM:
C          KVA,REVMIN,XR
C
      COMMON/UNO/RED
      COMMON/CUATRO/NOM
      COMMON/CINCO/MVAB
      COMMON/SEIS/Z
      COMMON/NUEVE/KVA,REVMIN,XR
C
C --- ENTEROS:      RED
C
C --- REALES:      XR,MVAB,REVMIN,KVA
C
C --- COMPLEJOS:   Z
C
C --- CHARACTER*4  NOM
C
C --- FIGURA N1.3
C
      DATA HPT(1),HPT(2),HPT(3),HPT(4),HPT(5)/50,75,100,150,250/
      DATA HPT(6),HPT(7),HPT(8),HPT(9),HPT(10)/350,500,1000,2500,5000/
      DATA HPT(11),HPT(12),HPT(13),HPT(14)/50,75,100,150/
      DATA HPT(15),HPT(16),HPT(17),HPT(18)/250,350,500,1000/
      DATA HPT(19),HPT(20),HPT(21),HPT(22),HPT(23)/2500,50,75,100,150/
      DATA HPT(24),HPT(25),HPT(26),HPT(27)/250,350,500,1000/
      DATA HPT(28),XRT(28)/2500,41.935483/
      DATA XRT(1),XRT(2),XRT(3)/0.728477,1.324503,1.523178/
      DATA XRT(4),XRT(5),XRT(6)/3.046358,5.364238,7.880795/
      DATA XRT(7),XRT(8),XRT(9)/10.6451,16.2581,24.5161/
      DATA XRT(10),XRT(11),XRT(12)/30.986842,6.026490,6.821192/
      DATA XRT(13),XRT(14),XRT(15)/7.483444,10.13.548387/
      DATA XRT(16),XRT(17),XRT(18)/16.4516,19.1613,24.9677/
      DATA XRT(19),XRT(20),XRT(21)/33.75,11.096774,12.580645/
      DATA XRT(22),XRT(23),XRT(24)/14.32258,17.290323,21.4193/

```

```

DATA XRT(25),XRT(26),XRT(27)/24.3B71,27.225B,33.355263/
C
ADC = 6
APT = 11
IF (NOM.EQ.'SUMI'.OR.NOM.EQ.'sumi') THEN
  READ (ADC,110,ERR=200) MVAcc,KVcc,KVB,XR
  GOTO 201
200 WRITE(*,251) NOM,MVAcc,KVcc,KVB,XR
  STOP
201 Zpu=(MVAB/MVAcc)*(KVcc/KVB)**2
  Rpu=Zpu/((1+XR**2)**(0.5))
  Xpu=Rpu*XR
  ELSE
  IF (NOM.EQ.'TRAN'.OR.NOM.EQ.'tran') THEN
    READ(ADC,115,ERR=202) MVAT,KVTP,KVB,ZT,XR
    GOTO 203
202 WRITE(*,255) NOM,MVAT,KVTP,KVB,ZT,XR
    STOP
203 Zpu=(ZT/100)*(MVAB/MVAT)*(KVTP/KVB)**2
C
C --- CALCULO DE X/R (TABLA N1.1)
C
  IF (XR.EQ.0) THEN
    IF ((MVAT.GT.0).AND.(MVAT.LT.3.161)) THEN
      XR=3.10602+1.56595*MVAT
    ELSE
      XR=8.495517-(6.22*10**(-5))*(MVAT**2)+1.402522*((LOG(MVAT))**2)
    ENDIF
  ENDIF
  Rpu=Zpu/SQRT(1+XR**2)
  Xpu=Rpu*XR
  ELSE
  IF (NOM.EQ.'MTIN'.OR.NOM.EQ.'mtin') THEN
    READ (ADC,112,ERR=204) HP,KVM,KVB,FP,EFIC,REVMIN,IRB,XR
    GOTO 205
204 WRITE(*,252) NOM,HP,KVM,KVB,FP,EFIC,REVMIN,IRB,XR
    STOP
205 IF (RED.EQ.1) THEN
    IF ((HP.GT.1000).AND.(REVMIN.LE.1980)) THEN
      FAC=1
    ELSE
      IF ((HP.GT.250).AND.(REVMIN.GE.3240.AND.REVMIN.LE.3960)) THEN
        FAC=1
      ELSE
        IF (HP.GE.50) THEN
          IF (IRB.EQ.0) THEN
            FAC=0.2
            IRB=1
          ELSE
            FAC=1.2
          ENDIF
        ELSE
          IF (IRB.EQ.0) THEN
            FAC=0.28
            IRB=1
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF

```

```

        ELSE
            FAC=1.67
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
ELSE
    IF (RED.EQ.2) THEN
        IF ((HP.GT.1000).AND.(REVMIN.LE.1980)) THEN
            FAC=1.5
        ELSE
            IF ((HP.GT.250).AND.(REVMIN.GE.3240.AND.REVMIN.LE.3960)) THEN
                FAC=1.5
            ELSE
                IF (HP.GE.50) THEN
                    IF (IRB.EQ.0) THEN
                        FAC=0.5
                        IRB=1
                    ELSE
                        FAC=3
                    ENDIF
                ELSE
                    FAC=0
                ENDIF
            ENDIF
        ENDIF
    ELSE
        FAC=0
    ENDIF
ENDIF
ENDIF
C
C --- CALCULO DE X/R (TABLA N1.3)
C
    IF (XR.EQ.0) THEN
        IF (REVMIN.GE.3240) THEN
            N=27
            NUM=20
        ELSE
            IF ((REVMIN.GE.1620).AND.(REVMIN.LT.3240)) THEN
                N=18
                NUM=11
            ELSE
                N=9
                NUM=1
            ENDIF
        ENDIF
        DO 10 I=NUM,N
            IF (HP.LT.HPT(I+1).AND.HP.GE.HPT(I)) THEN
                X=(XRT(I+1)-XRT(I))/(LOG(HPT(I+1))-LOG(HPT(I)))
                R=LOG(HP)-LOG(HPT(I))
                XR=X*R+XRT(I)
            ENDIF
        10 CONTINUE
    ENDIF
    Xpu=(FAC/IRB)*(((MVAB*1000)*FP*EFIC)/(0.746*HP))*(KVM/KVB)**2

```

```

Rpu=Xpu/XR
ELSE
IF (NOM.EQ.'MTSI'.OR.NOM.EQ.'mtsi') THEN
READ (ADC,112,ERR=206) HP,KVM,KVB,FP,EFIC,REVMIN,XXD,XR
GOTO 207
206 WRITE(*,252) NOM,HP,KVM,KVB,FP,EFIC,REVMIN,XXD,XR
STOP
207 IF (RED.EQ.1) THEN
FAC=1
ELSE
IF (RED.EQ.2) THEN
FAC=1.5
ELSE
FAC=0
ENDIF
ENDIF
ENDIF
C
C --- CALCULO DE XENR (TABLA N1.2)
C
IF (XR.EQ.0) THEN
KVA=HP
CALL XRGYSM
ENDIF
Xpu=FAC*(XXD*((MVAB*1000)*FP*EFIC)/(0.746*HP))*(KVM/KVB)**2)
Rpu=Xpu/XR
ELSE
IF(NOM.EQ.'CABL'.OR.NOM.EQ.'cabl') THEN
READ (ADC,114,ERR=208) NUC,A,FT,RD,MK,D,XA,RC,KV,GD
GOTO 209
208 WRITE(*,254) NOM,NUC,A,FT,RD,MK,D,XA,RC,KV,GD
STOP
209 GR=50
IF (MK.EQ.1) THEN
K=234.5
ELSE
IF (MK.EQ.2) THEN
K=241.5
ELSE
K=228.1
ENDIF
ENDIF
XB=0.052917*LOG10(D)-0.057107
Xpu=(XA+XB)*(FT/1000)*(MVAB/(KV**2))*RD*(1/NUC)
Rpu=(RC/1000)*FT*((K+GD)/(K+GR))*(MVAB/(KV**2))*(1/NUC)
ELSE
IF(NOM.EQ.'REAC'.OR.NOM.EQ.'reac') THEN
READ (ADC,116,ERR=210) ZR,KVB,XR
GOTO 211
210 WRITE(*,256) NOM,ZR,KVB,XR
STOP
211 Zpu=ZR*(MVAB/KVB**2)
Rpu=Zpu/((1+(XR**2))**(0.5))
Xpu=Rpu*XR
ELSE
IF (NOM.EQ.'DATO'.OR.NOM.EQ.'dato') THEN

```

```

READ (ADC,116,ERR=212) R,X,KVB
GOTO 213
212 WRITE(*,256) NOM,R,X,KVB
STOP
213 Rpu=R*(MVAB/KVB**2)
Xpu=X*(MVAB/KVB**2)
ELSE
IF (NOM.EQ.'GENE'.OR.NOM.EQ.'gene') THEN
READ (ADC,111,ERR=214) MVA,KVG,KVB,XXD,XD,XR
GOTO 215
214 WRITE(*,251) NOM,MVA,KVG,KVB,XXD,XD,XR
STOP
C
C --- CALCULO DE XENR (TABLA N1.2)
C
215 IF(XR.EQ.0) XR=1800
IF(XR.GT.100) THEN
KVA=MVA*1000
REVMIN=XR
CALL XRGYSM
ENDIF
IF (RED.EQ.3) THEN
Xpu=XD*(MVAB/MVA)*(KVG/KVB)**2
ELSE
Xpu=XXD*(MVAB/MVA)*(KVG/KVB)**2
ENDIF
Rpu=Xpu/XR
ELSE
IF (NOM.EQ.'MTIA'.OR.NOM.EQ.'mtia') THEN
READ (ADC,115,ERR=216) HP,KVM,KVB,IRB,XR
GOTO 217
216 WRITE(*,255) NOM,HP,KVM,KVB,IRB,XR
STOP
217 IF(XR.EQ.0) THEN
IF(HP.LE.50) THEN
XR=6
ELSE
DO 100 I=11,18
IF(HP.LT.HPT(I+1).AND.HP.GE.HPT(I)) THEN
X=(XRT(I+1)-XRT(I))/(LOG(HPT(I+1))-LOG(HPT(I)))
R=LOG(HP)-LOG(HPT(I))
XR=X*R+XRT(I)
ENDIF
CONTINUE
100 ENDIF
ENDIF
IF (IRB.EQ.0) THEN
Xpu=(0.28)*((MVAB*1000)/HP)*(KVM/KVB)**2
ELSE
Xpu=(1.67/IRB)*((MVAB*1000)/HP)*(KVM/KVB)**2
ENDIF
IF (RED.EQ.2) Xpu=0
Rpu=Xpu/XR
ELSE
IF (NOM.EQ.'DATP'.OR.NOM.EQ.'datp') THEN

```

```

      READ (ADC,115,ERR=21B) R,X,MVA,KV,KVB
      GOTO 219
21B   WRITE(*,255) NOM,R,X,MVA,KV,KVB
      STOP
219   Rpu=R*(MVAB/MVA)*(KV/KVB)**2
      Xpu=X*(MVAB/MVA)*(KV/KVB)**2
      ELSE
      WRITE(*,*)'          ----- ERROR GENERAL !!!!!!!'
      ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
      Z=CMPLX(Rpu,Xpu)
C
C --- FORMATOS
C
110 FORMAT (4(F10.5,1X))
250 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,4(F10.5,1X))
111 FORMAT (6(F10.5,1X))
251 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,6(F10.5,1X))
112 FORMAT (8(F10.5,1X))
252 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,8(F10.5,1X))
114 FORMAT (10(F10.5,1X))
254 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,10(F10.5,1X))
115 FORMAT (5(F10.5,1X))
255 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,5(F10.5,1X))
116 FORMAT (3(F10.5,1X))
256 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,3(F10.5,1X))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE XRGYSM
C
C --- DECLARACIONES
C
      REAL          A,KVA,REVMIN,XR
C
C --- VARIABLES DE SUBROUTINA CALCULO: REALES
C
      COMMON/NUEVE/KVA,REVMIN,XR
C
C --- CALCULO DE XENR (TABLA N1.2)
C
      A=LOG(KVA)

```

```

                READ (ADC,115,ERR=218) R,X,MVA,KV,KVB
                GOTO 219
218             WRITE (*,255) NOM,R,X,MVA,KV,KVB
                STOP
219             Rpu=R*(MVAB/MVA)*(KV/KVB)**2
                Xpu=X*(MVAB/MVA)*(KV/KVB)**2
                ELSE
                WRITE(*,*)'          ----- ERROR GENERAL !!!!!!'
                ENDIF
                ENDIF
                ENDIF
                ENDIF
                ENDIF
                ENDIF
                ENDIF
                ENDIF
                Z=CMPLX(Rpu,Xpu)
C
C --- FORMATOS
C
110 FORMAT (4(F10.5,1X))
250 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,4(F10.5,1X))
111 FORMAT (6(F10.5,1X))
251 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,6(F10.5,1X))
112 FORMAT (8(F10.5,1X))
252 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,8(F10.5,1X))
114 FORMAT (10(F10.5,1X))
254 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,10(F10.5,1X))
115 FORMAT (5(F10.5,1X))
255 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,5(F10.5,1X))
116 FORMAT (3(F10.5,1X))
256 FORMAT (4(/),18X,'ERROR EN EL ARCHIVO DE DATOS:',//,5X
-,A4,/,5X,3(F10.5,1X))
        RETURN
        END
        SUBROUTINE XRGYSM
C
C --- DECLARACIONES
C
        REAL          A,KVA,REVMIN,XR
C
C --- VARIABLES DE SUBROUTINA CALCULO: REALES
C
        COMMON/NUEVE/KVA,REVMIN,XR
C
C --- CALCULO DE XENR (TABLA N1.2)
C
        A=LOG(KVA)

```

```
IF (REVMIN.GE.3240) THEN
  XR=(18.29751*A)-(3.181666*A**2)+(0.19308*A**3)
ELSE
  IF ((REVMIN.GE.1620).AND.(REVMIN.LT.3240)) THEN
    XR=(14.39184*A)-(2.860667*A**2)+(0.184383*A**3)
  ELSE
    XR=(10.20457*A)-(2.572509*A**2)+(0.182933*A**3)
  ENDIF
ENDIF
RETURN
END.
```

SUBROUTINA TRIFAN.

```

SUBROUTINE TRIFAN
C
C --- DECLARACIONES:
C
      INTEGER      NF1,M,NREF,NBUS,NL,KBQ,NE,NR,L,L1,IBQ,RED,BANDE
      REAL         IB,ZB,R,X,TAPERT,TAPERS,CIC,KVBUS,MVAB,FA1,FA2
      COMPLEX      ZW,C1,C2,C,Z1,Z
      CHARACTER*4  NOM(500),FMUL,NOMI
C
C --- VARIABLES DE PROGRAMA NORMA:
C         MVAB,NOM,KVBUS(100),RED,FMUL(100),TAPERT(100)
C         TAPERS(100)
C         CIC(100),NREF(BR),NBUS(NB),NL(NTE),ARCHRES
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA FACTOR:
C         RED,Z1,TAPERT(100),TAPERS(100),FMUL(100),CIC(100)
C         C,KVBUS(100),FA1,FA2
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA ZBUS:
C         Z(100,100),IBQ(100),KBQ(100),NE(100),NR(100)
C         R(100),X(100),NREF,NL,L,L1
C
C --- VARIABLES PARA SUBROUTINA ORDEN:
C         NBUS,IBQ(100),KBQ(100),Z(100,100)
C
      COMMON/UNO/RED
      COMMON/TRES/KVBUS(100)
      COMMON/CUATRO/NOMI
      COMMON/CINCO/MVAB
      COMMON/SIETE/TAPERT(100),TAPERS(100),CIC(100)
      COMMON/OCHO/FMUL(100)
      COMMON/DIEZ/NREF,NL
      COMMON/ONCE/NBUS
      COMMON/DOCE/IBQ(100),KBQ(100)
      COMMON/TRECE/NE(100),NR(100)
      COMMON/CATORCE/R(100),X(100)
      COMMON/QUINCE/Z1,C
      COMMON/DISEIS/Z(100,100)
      COMMON/DISIETE/L,L1
      COMMON/DIOCHO/FA1,FA2
C
C --- ENTEROS:      KBQ(100),NE(100),NR(100),IBQ(100)
C                   NREF,NBUS,NL,L,L1,RED,BANDE
C
C --- REALES:      R(100),X(100),TAPERT(100),TAPERS(100),CIC(100)
C                   KVBUS(100),MVAB,FA1,FA2
C
C --- COMPLEJOS:   C,Z1,Z(100,100)
C
C --- CHARACTER*4: NOM,FMUL(100)
C
C --- Dimension:  Z(#,#),IBQ(#),KBQ(#)  #=Numero de líneas

```

```

C   Dimension: NE(#),NR(#),X(#)   #=Numero de lineas
C
C   NF1=11
C   NF2=15
C
C --- SE TOMA LECTURA DE LOS DATOS:
C
C   OPEN(UNIT=NF1,FILE='ZWTAC.DAT',STATUS='OLD')
C   DO 25 I=1,NBUS
C     KBQ(I)=I
C 25 CONTINUE
C   DO 10 I=1,NL
C     READ (NF1,104,ERR=200) NE(I),NR(I),R(I),X(I),NOM(I)
C 10 CONTINUE
C
C --- SE INICIA EL CALCULO:
C
C   L =1
C   DO 11 I=1,NL
C     L1 =L-1
C     CALL ZBUS (I)
C 11 CONTINUE
C   CALL ORDEN
C
C --- SE IMPRIMEN LOS RESULTADOS:
C
C   WRITE(*,425)
C   WRITE(NF2,425)
C
C --- SE CALCULAN LAS BASES DE CORRIENTE Y DE IMPEDANCIA
C
C   DO 20 I=1,NBUS
C     BANDE=0
C     IB=MVAB/(KVBUS(I)*3**0.5)
C     ZB=KVBUS(I)**2/MVAB
C     IF (RED.EQ.2.AND.KVBUS(I).LE.1.0) THEN
C     ELSE
C       WRITE(NF2,500) I,KVBUS(I)
C       WRITE(*,500) I,KVBUS(I)
C       CALL ENCA(RED,BANDE)
C     ENDIF
C     C1 =1./Z(I,I)
C     ZW = Z(I,I)
C     C=C1*IB
C     Z1=ZW*ZB
C
C --- SE APLICAN FACTORES
C
C   M1=KBQ(I)
C   CALL FACTOR (I,M1,ZB,BANDE)
C   IF (RED.EQ.2.AND.KVBUS(I).LE.1.0) THEN
C   ELSE
C     BANDE=1
C     WRITE(NF2,*)

```

```

WRITE(*,*)
WRITE(NF2,*)
WRITE(*,*)
WRITE(NF2,*)'      CONTRIBUCIONES'
WRITE(*,*)'      CONTRIBUCIONES'
CALL ENCA(RED,BANDE)
ENDIF
DO 19 J=1,NL
  BANDE=1
  IF(KBQ(I).EQ.NE(J)) GO TO 2280
  IF(KBQ(I).NE.NR(J)) GO TO 19
  M=NE(J)
  N=NR(J)
GO TO 2300
2280  M=NR(J)
      N=NE(J)
2300 IF(M.EQ.0)      GO TO 2400
      DO 15 IQ=1,NBUS
        IF(KBQ(IQ).EQ.M) GO TO 16
15    CONTINUE
16    M=IQ
      DO 17 IQ=1,NBUS
        IF(KBQ(IQ).EQ.N) GO TO 18
17    CONTINUE
18    N=IQ
      C2=(-Z(M,I)+Z(N,I))/(Z(I,I)*CMPLX(R(J),X(J)))
      C=C2*IB
      Z1=CMPLX(R(J),X(J))*ZB
      M1=IBQ(M)
      NOMI=NOM(J)
      CALL FACTOR (I,M1,ZB,BANDE)
GO TO 19
2400  C2 =1.00/CMPLX(R(J),X(J))
      C=C2*IB
      Z1=CMPLX(R(J),X(J))*ZB
      M1=M
      NOMI=NOM(J)
      CALL FACTOR (I,M1,ZB,BANDE)
19  CONTINUE
20  CONTINUE
GOTO 201
200 WRITE(*,*)' ERROR EN LOS DATOS'
201 CLOSE (UNIT=NF1,STATUS='DELETE')
C
C --- FORMATOS:
C
104 FORMAT (1X,I3,1X,I3,1X,F10.5,1X,F10.5,1X,A4)
425 FORMAT (///,28X,'ANALISIS DE CORTO CIRCUITO')
500 FORMAT (//,7X'BUS: ',I3,' (',F7.3,' KV)',/)
RETURN
END
SUBROUTINE FACTOR (I,M,ZB,BANDE)
C
C --- DECLARACIONES
C

```

```

INTEGER      RED, I, M, NF2, BANDE
REAL         Pi, R, X, XR, FACF, A, FACI, FACS, FACTL, FACTR, FACT
REAL         TAPERT, TAPERS, CIC, KVBUS, FA1, FA2
REAL         ICF, PCF, ICI, PCI, ICS, PCS, ICT, PCT, PC
COMPLEX      Z1, C3
CHARACTER*4  FMUL, NOMI

C
C --- VARIABLES DE TRIFAN
C
COMMON/UNO/RED
COMMON/TRES/KVBUS(100)
COMMON/CUATRO/NOMI
COMMON/SIETE/TAPERT(100), TAPERS(100), CIC(100)
COMMON/OCHO/FMUL(100)
COMMON/QUINCE/Z1, C3
COMMON/DIOCHO/FA1, FA2

C
C --- ENTEROS:      RED
C
C --- REALES:      TAPERT(100), TAPERS(100), CIC(100), KVBUS(100)
C                  FA1, FA2
C
C --- COMPLEJOS:   Z1, C3 (C EN TRIFAN)
C
C --- CHARACTER*4: FMUL(100)
C
C
C --- CALCULO DE FACTORES
C
NF2=15
Pi=3.1416
C=SQRT(REAL(C3)**2+AIMAG(C3)**2)
R=REAL(Z1)/ZB
X=AIMAG(Z1)/ZB
XR=X/R
Z=((R**2+X**2)**0.5)
IF (RED.EQ.1) THEN

C
C --- SE APLICAN FACTORES A LA PRIMERA RED
C
IF ((KVBUS(I).LT.15).AND.(XR.LT.4)) THEN
FACF=1.2
ELSE
FACF=1.55
ENDIF
IF (KVBUS(I).LE.1) THEN
IF (XR.EQ.0) THEN
FACI=1
ELSE

```

```

ELSE
  FACI=1.6
ENDIF
IF (BANDE.NE.O) THEN
  FACF=FA1
  FACI=FA2
ELSE
  FA1=FACF
  FA2=FACI
ENDIF
ICF=C*FACF
PCF=ICF*KVBUS(I)*3**0.5
ICI=C*FACI
PCI=ICI*KVBUS(I)*3**0.5
C
C --- SE IMPRIMEN RESULTADOS DE LA PRIMERA RED
C
IF (BANDE.EQ.O) THEN
  WRITE(*,500) R,X,XR,Z,FACF,ICF,PCF
  WRITE(NF2,500) R,X,XR,Z,FACF,ICF,PCF
  WRITE(*,510) R,X,XR,Z,FACI,ICI,PCI
  WRITE(NF2,510) R,X,XR,Z,FACI,ICI,PCI
ELSE
  WRITE(*,501) NOMI,M,R,X,Z,FACF,ICF,PCF
  WRITE(NF2,501) NOMI,M,R,X,Z,FACF,ICF,PCF
  WRITE(*,511) NOMI,M,R,X,Z,FACI,ICI,PCI
  WRITE(NF2,511) NOMI,M,R,X,Z,FACI,ICI,PCI
ENDIF
ELSE
  IF (RED.EQ.2) THEN
    IF (KVBUS(I).LE.1.O) RETURN
  C
  C --- SE APLICAN FACTORES A LA SEGUNDA RED
  C
  C --- FIGURAS 101 Y 102 [CORRIENTE TOTAL (LOCAL Y REMOTO)]
  C
  IF (TAPERT(I).EQ.4) THEN
    FACTL=0.785201+0.585515*EXP(-7.9*Pi/XR)
    FACTR=0.968166+0.757171*EXP(-12.8*Pi/XR)
  ELSE
    IF (TAPERT(I).EQ.3) THEN
      FACTL=0.830186+0.62331*EXP(-6.9*Pi/XR)
      FACTR=0.973538+0.764191*EXP(-10*Pi/XR)
    ELSE
      IF (TAPERT(I).EQ.2) THEN
        FACTL=0.983431+0.547042*EXP(-6.1*Pi/XR)
        FACTR=0.980085+0.759628*EXP(-6.8*Pi/XR)
      ELSE
        FACTL=0.937357+0.683607*EXP(-2.55*Pi/XR)
        FACTR=0.993552+0.749142*EXP(-3.7*Pi/XR)
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
  IF (FMUL(I).EQ.'LOC'.OR.FMUL(I).EQ.'loc') THEN
    FACT=FACTL
  
```

```

ELSE
  FACT=FACTR
ENDIF
IF (FMUL(I).EQ.'LOC'.OR.FMUL(I).EQ.'loc') THEN
C
C --- FIGURA 103 [CORRIENTE SIMETRICA (LOCAL)]
C
      IF (CIC(I).EQ.2) THEN
C
C --- INTERRUPTORES DE 2 CICLOS
C
          IF (TAPERS(I).EQ.2) THEN
              FACS=-67.0471+68.20847*EXP(-PI/(40*XR))
          ELSE
              FACS=-58.13521+59.34305*EXP(-PI/(40*XR))
          ENDIF
      ELSE
          IF (CIC(I).EQ.3) THEN
C
C --- INTERRUPTORES DE 3 CICLOS
C
              IF (TAPERS(I).EQ.4) THEN
                  FACS=-44.99148+46.14747*EXP(-PI/(14*XR))
              ELSE
                  IF (TAPERS(I).EQ.3) THEN
                      FACS=-43.7571+44.98180*EXP(-PI/(15*XR))
                  ELSE
                      FACS=-0.064326+1.337858*EXP(-PI*1.6/XR)
                  ENDIF
              ENDIF
          ELSE
              IF (CIC(I).EQ.5) THEN
C
C --- INTERRUPTORES DE 5 CICLOS
C
                  IF (TAPERS(I).EQ.6) THEN
                      FACS=-69.0783+70.26207*EXP(-PI/(13.9*XR))
                  ELSE
                      IF (TAPERS(I).EQ.5) THEN
                          FACS=-55.49725+56.70404*EXP(-PI/(13.9*XR))
                      ELSE
                          IF (TAPERS(I).EQ.4) THEN
                              FACS=-50.76133+52.01722*EXP(-PI/(14.9*XR))
                          ELSE
                              FACS=0.567529+0.772748*EXP(-PI*4.7/XR)
                          ENDIF
                      ENDIF
                  ENDIF
              ELSE
C
C --- INTERRUPTORES DE 8 CICLOS
C
                  IF (TAPERS(I).EQ.8) THEN
                      FACS=-98.34049+99.57416*EXP(-PI/(14*XR))
                  ELSE

```



```

ELSE
  IF (TAPERS(I).EQ.6) THEN
    FACS=-38.00777+39.35374*EXP(Pi/(XR*7))
  ELSE
    IF (TAPERS(I).EQ.4) THEN
      FACS=-0.044428+1.422692*EXP(-Pi*3.2/XR)
    ELSE
      FACS=-0.581939+0.849643*EXP(-Pi*3.8/XR)
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ELSE
  IF (CIC(I).EQ.5) THEN
C
C --- INTERRUPTORES DE 5 CICLOS
C
    IF (TAPERS(I).EQ.12) THEN
      FACS=0.672475+0.725139*EXP(-Pi*16.9/XR)
    ELSE
      IF (TAPERS(I).EQ.10) THEN
        FACS=0.814741+0.670332*EXP(-Pi*21.7/XR)
      ELSE
        IF (TAPERS(I).EQ.8) THEN
          FACS=0.835471+0.664109*EXP(-Pi*18.8/XR)
        ELSE
          IF (TAPERS(I).EQ.6) THEN
            FACS=0.811762+0.737307*EXP(-Pi*15/XR)
          ELSE
            IF (TAPERS(I).EQ.4) THEN
              FACS=0.872541+0.688306*EXP(-Pi*11.4/XR)
            ELSE
              FACS=0.914442+0.684435*EXP(-Pi*10.4/XR)
            ENDIF
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    ENDIF
  ELSE
C
C --- INTERRUPTORES DE 8 CICLOS
C
    IF (TAPERS(I).EQ.30) THEN
      FACS=0.95287+0.373804*EXP(-Pi*50/XR)
    ELSE
      IF (TAPERS(I).EQ.24) THEN
        FACS=0.963692+0.564616*EXP(-Pi*52.8/XR)
      ELSE
        IF (TAPERS(I).EQ.18) THEN
          FACS=0.979142+0.645615*EXP(-Pi*47/XR)
        ELSE
          IF (TAPERS(I).EQ.12) THEN
            FACS=0.98869+0.73001*EXP(-Pi*38.9/XR)
          ELSE

```



```

        WRITE(*,541) NOMI,M,R,X,Z,C,PC
        WRITE(NF2,541) NOMI,M,R,X,Z,C,PC
    ENDIF
ENDIF
ENDIF
C
C --- FORMATOS
C
500 FORMAT (/ , 7X, 2F9.4, F10.4, F9.4, ' F ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
501 FORMAT (/ , 10X, A4, I3, 3F9.4, ' F ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
510 FORMAT (/ , 7X, 2F9.4, F10.4, F9.4, ' I ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
511 FORMAT (/ , 10X, A4, I3, 3F9.4, ' I ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
520 FORMAT (/ , 7X, 2F9.4, F10.4, F9.4, ' SIM ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
521 FORMAT (/ , 10X, A4, I3, 3F9.4, ' SIM ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
530 FORMAT (/ , 7X, 2F9.4, F10.4, F9.4, ' TOT ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
531 FORMAT (/ , 10X, A4, I3, 3F9.4, ' TOT ', F6.3, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
540 FORMAT (/ , 13X, 2F9.4, F10.4, F9.4, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
541 FORMAT (/ , 16X, A4, I3, 3F9.4, 1X, F8.3, 1X, F9.3)
RETURN
END
SUBROUTINE ENCA (RED,BANDE)
C
C --- SUBROUTINA QUE PONE LOS LETREROS INDICADOS SEGUN LA RED DE LA QUE SE
C TRATE
C
C --- DECLARACIONES
C
INTEGER RED,NF2,BANDE
NF2=15
IF (RED.EQ.1) THEN
    IF (BANDE.EQ.0) THEN
        WRITE(NF2,10)
        WRITE(*,10)
    ELSE
        WRITE(NF2,11)
        WRITE(*,11)
    ENDIF
ELSE
    IF (RED.EQ.2) THEN
        IF (BANDE.EQ.0) THEN
            WRITE(NF2,20)
            WRITE(*,20)
        ELSE
            WRITE(NF2,21)
            WRITE(*,21)
        ENDIF
    ELSE
        IF (BANDE.EQ.0) THEN
            WRITE(NF2,30)
            WRITE(*,30)
        ELSE
            WRITE(NF2,31)
            WRITE(*,31)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

```
      ENDIF
C --- FORMATOS
10  FORMAT (/ ,12X,'Rpu      Xpu      X/R      Z',
      -'pu  USO  Fm  Icc(KA) Pcc(MVA)')
11  FORMAT (/ ,15X,'BUS      Rpu      Xpu      Z',
      -'pu  USO  Fm  Icc(KA) Pcc(MVA)')
20  FORMAT (/ ,12X,'Rpu      Xpu      X/R      Z',
      -'pu  INT  Fm  Icc(KA) Pcc(MVA)')
21  FORMAT (/ ,15X,'BUS      Rpu      Xpu      Z',
      -'pu  INT  Fm  Icc(KA) Pcc(MVA)')
30  FORMAT (/ ,18X,'Rpu      Xpu      X/R      ',
      -' Zpu  Icc(KA) Pcc(MVA)')
31  FORMAT (/ ,21X,'BUS      Rpu      Xpu      ',
      -' Zpu  Icc(KA) Pcc(MVA)')
      RETURN
      END.
```

SUBROUTINA ZBUS.

```

SUBROUTINE ZBUS(I)
C
C --- DECLARACIONES:
C
      INTEGER      XXX, IB, IA, NR, NE, IBQ, KBQ, L, NREF, L1, NL
      REAL         R, X
      COMPLEX      Z, CERO
C
C --- VARIABLES DE SUBROUTINA TRIFAN
C
      COMMON/DIEZ/NREF, NL
      COMMON/DOCE/IBQ(100), KBQ(100)
      COMMON/TRECE/NE(100), NR(100)
      COMMON/CATORCE/R(100), X(100)
      COMMON/DISEIS/Z(100,100)
      COMMON/DISIETE/L, L1
C
C --- ENTEROS:      NR(100), NE(100), IBQ(100), KBQ(100)
C                  L, NREF, L1, NL
C
C --- REALES:      R(100), X(100)
C
C --- COMPLEJOS:   Z(100,100)
C
      CERO = CMPLX(0., 0.)
      DO 1 J=1, L
        Z(J, L) = CERO
        Z(L, J) = CERO
1 CONTINUE
      IF(NR(I).NE.NREF) GO TO 3180
      XXX = NR(I)
      NR(I) = NE(I)
      NE(I) = XXX
      GO TO 3720
3180 IF(NE(I).EQ.NREF) GO TO 3720
      IF(L1.LE.0) GO TO 3720
      IB = 0
      IA = 1
3240 DO 2 J=1, L1
      IF(IBQ(J).EQ.NE(I)) GO TO 3640
2 CONTINUE
      IF(IB.EQ.0) GO TO 3500
      IF((I+IA).GT.NL) GO TO 3600
      XXX = NE(I+IA)
      NE(I+IA) = NE(I)
      NE(I) = XXX
      XXX = NR(I+IA)
      NR(I+IA) = NR(I)
      NR(I) = XXX
      IA = IA+1
      IB = 0
      GO TO 3240

```

```

3500 XXX  =NR(I)
      NR(I) =NE(I)
      NE(I) =XXX
      IB    =1
      GO TO 3240
3600 WRITE( *,1000)
      STOP
C
3640 M =J
      DO 3 J=1,L
      Z(L,J) =Z(L,J)+Z(J,M)
      Z(J,L) =Z(L,J)
      3 CONTINUE
3720 Z(L,L) =Z(L,L)+CMPLX(R(I),X(I))
      IF(L1.LE.0) GO TO 3820
      DO 4 J=1,L1
      IF(IBQ(J).EQ.NR(I)) GO TO 3880
      4 CONTINUE
3820 IBQ(L) =NR(I)
      L    =L+1
      RETURN
C
C ---
3880 N    =J
      DO 5 J=1,L1
      Z(L,J) = Z(L,J)-Z(N,J)
      Z(J,L) = Z(L,J)
      5 CONTINUE
      IF(NE(I).EQ.NREF) GO TO 4020
      Z(L,L) = Z(M,L)-Z(N,L)+CMPLX(R(I),X(I))
      GO TO 4040
4020 Z(L,L) =-Z(N,L)+CMPLX(R(I),X(I))
4040 DO 6 J=1,L1
      DO 6 K=1,L1
      Z(J,K) = Z(J,K)-Z(J,L)*Z(K,L)/Z(L,L)
      6 CONTINUE
C
C --- FORMATOS:
1000 FORMAT(2X,'--- Error: existen dos o mas redes aisladas !..')
C
C
      RETURN
      END

```

SUBROUTINA ORDEN.

```

SUBROUTINE ORDEN
C
C --- DECLARACIONES:
C
      INTEGER      K2,IBQ,KBQ,NBUS
      COMPLEX      Y,Z
C
C --- VARIABLES DE SUBROUTINA TRIFAN
C
      COMMON/ONCE/NBUS
      COMMON/DOCE/IBQ(100),KBQ(100)
      COMMON/DISEIS/Z(100,100)
C
C --- ENTEROS:      IBQ(100),KBQ(100),NBUS
C
C --- COMPLEJOS:    Z(100,100)
C
      DO 2 I=1,NBUS
      DO 1 K=1,NBUS
        IF (IBQ(K).EQ.KBQ(I)) GO TO 5120
1      CONTINUE
        WRITE( *,1000) KBQ(I)
        STOP
5120  K2      =IBQ(I)
      IBQ(I)  =IBQ(K)
      IBQ(K)  =K2
      DO 3 J=1,NBUS
        Y      =Z(I,J)
        Z(I,J) =Z(K,J)
        Z(K,J) =Y
3      CONTINUE
      DO 4 J=1,NBUS
        Y      =Z(J,I)
        Z(J,I) =Z(J,K)
        Z(J,K) =Y
4      CONTINUE
2      CONTINUE
C
C --- FORMATOS
C
1000  FORMAT(2X,'--- El nodo (' ,I3,') es nodo aislado 1...',//)
      RETURN
      END

```

V.- CASO PRÁCTICO.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El Ingenio "La Morena" ubicado en el Estado de Jalisco tiene contemplado un crecimiento para el segundo semestre de 1995. Actualmente presenta una carga instalada de 2.5 MVA que es alimentada en 13.8 kV por Comisión Federal de Electricidad. El diagrama unifilar anexo muestra la distribución de la carga.

El plan de crecimiento tiene como objetivo terminar la obra para fines de 1995 y así lograr un incremento en la producción de 1996. Para cumplir con dicho plan, la carga instalada se verá incrementada a 4.1 MVA debido a la adición de:

- a) 1 motor de inducción de 1500 hp a 4.16 kV.
- b) 1 motor de 200 hp a 4.16 kV.
- c) 2 motores de 50 hp a 480 V.

y al incremento de:

- d) el grupo 1 de motores de inducción de 18.5 hp a 34.5 hp.
- e) el grupo 2 de motores de inducción de 29.2 hp a 40 hp.

Tomando en cuenta la nueva Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica publicada el 23 de diciembre de 1992 donde se permite la cogeneración, la empresa ha decidido invertir en generadores para poder aprovechar el vapor que se utiliza en el proceso y que actualmente es desperdiciado. De esta manera, la empresa podrá tener funcionando hasta 3 generadores de 3.25 MVA cada uno (dependiendo de la época del año) sumando un total de 9.75 MVA.

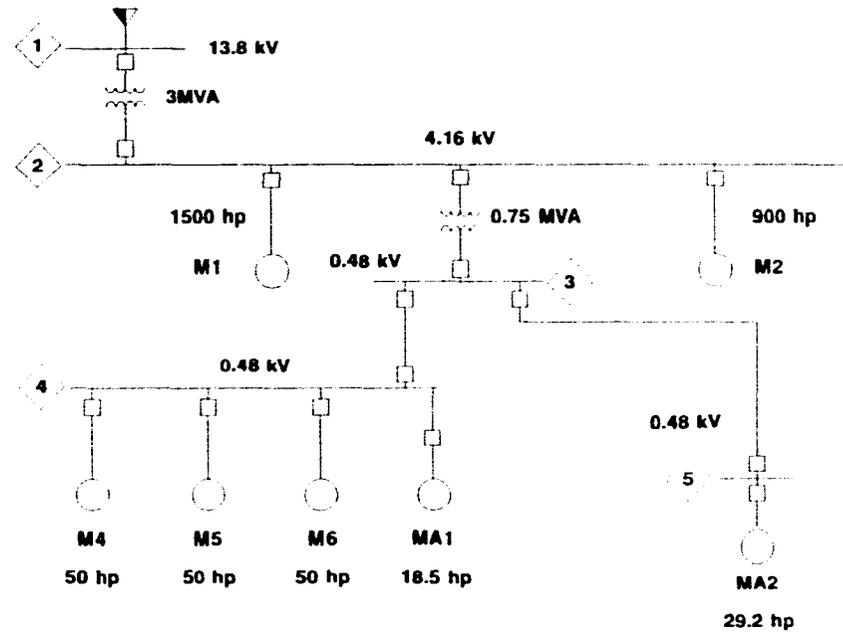
Dado que la carga será de 4.1 MVA, el ingenio estará en posibilidad de vender a Comisión Federal de Electricidad hasta 5.65 MVA. A diferencia de la carga, la generación no es constante por lo que se ha decidido cambiar el transformador de 3 MVA a 5 MVA con lo cual se puede vender el excedente de energía o alimentar toda la carga en caso de ser necesario.

Al variar la carga instalada se modifican las condiciones de operación del sistema ya que, aunque los buses 3, 4 y 5 tienen una capacidad de crecimiento que soporta la nueva carga, las corrientes en los diferentes puntos del sistema cambian. En los buses 1 y 2, el flujo de corrientes también varía el momento de instalar el nuevo equipo.

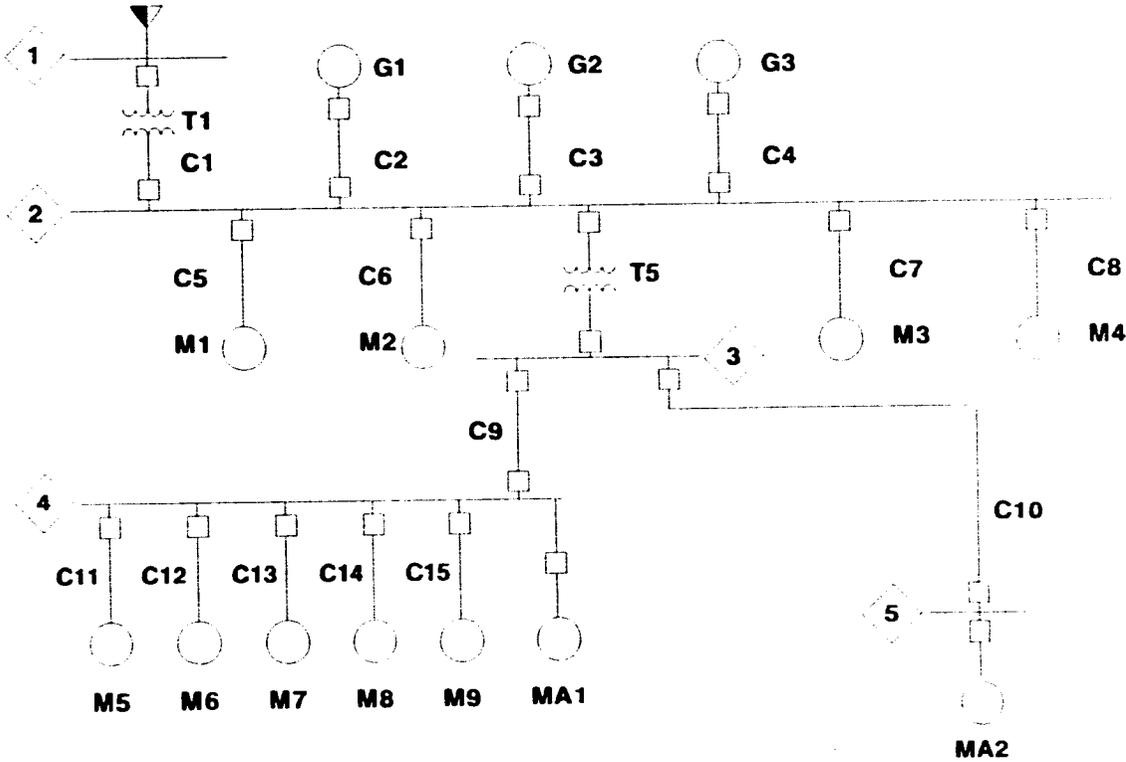
Debido a lo anterior, se hace indispensable un estudio de corto circuito para coordinar las protecciones del sistema, de acuerdo con sus nuevas condiciones de operación.

En este trabajo incluimos el análisis de corto circuito aplicando la metodología establecida por la Norma ANSI/IEEE 141-1993 y se dejan los resultados listos para la coordinación de protecciones.

SITUACIÓN ACTUAL



PROYECTO DE CRECIMIENTO



DATOS DE LOS ELEMENTOS

ACOMETIDA	
Sec3f = 350 MVA	

GENERADORES				
No.	Potencia [kVA]	Tensión [kV]	X''pu	X'pu
1	3250	4.16	0.28	0.44
2	3250	4.16	0.28	0.44
3	3250	4.16	0.28	0.44

TRANSFORMADORES				
No.	Tensión Primario [kV]	Tensión Secundario [kV]	Capacidad [MVA]	Impedancia Característica [%]
1	4.16	13.8	5	5.5
2	4.16	0.48	0.75	5.72

MOTORES						
No.	Potencia [hp]	Tensión [kV]	Eficiencia	Factor de Potencia	R.P.M.	Irb pu
1	1500	4.16	0.948	0.9	3570	5.59
2	1500	4.16	0.948	0.9	3570	5.59
3	900	4.16	0.94	0.89	3570	4.49
4	200	4.16	0.916	0.885	1780	6.29
5	50	0.46	0.879	0.81	1765	6.29
6	50	0.46	0.879	0.81	1765	6.29
7	50	0.46	0.879	0.81	1765	6.29
8	50	0.46	0.879	0.81	1765	6.29
9	50	0.46	0.879	0.81	1765	6.29
Grupo 1	34.5	0.46	*****	*****	*****	*****
Grupo 2	40	0.46	*****	*****	*****	*****

CABLES			
No.	Tensión [kV]	Calibre	Longitud [ft]
1	4.16	600	165
2	4.16	500	65.6
3	4.16	500	65.6
4	4.16	500	65.6
5	4.16	4/0	164
6	4.16	4/0	170.6
7	4.16	2/0	177.1
8	4.16	6	131.2
9	0.48	750	49.2
10	0.48	350	262.4
11	0.48	4	49.2
12	0.48	4	55.7
13	0.48	2	98.4
14	0.48	2	108.2
15	0.48	2	118.1

Determinación de cantidades base.*Potencia base:*

$$S_{base} = 5 \text{ [MVA]}$$

Voltajes base:

$$base\ 1 = 13.8 \text{ [kV]}$$

$$base\ 2 = 13.8 \text{ [kV]}$$

$$base\ 3 = V_{base\ 4} = V_{base\ 5} = 480 \text{ [V]}$$

Corrientes base:

$$I_{base\ 1} = \frac{5}{\sqrt{3} \times 13.8} = 0.2092 \text{ [A]}$$

$$I_{base\ 2} = \frac{5}{\sqrt{3} \times 4.16} = 0.6939 \text{ [A]}$$

$$I_{base\ 3} = I_{base\ 4} = I_{base\ 5} = \frac{5}{\sqrt{3} \times 0.48} = 6.0141 \text{ [A]}$$

Impedancias base:

$$Z_{base\ 1} = \frac{13.8^2}{5} = 38.088 \text{ [\Omega]}$$

$$Z_{base\ 2} = \frac{4.16^2}{5} = 38.088 \text{ [\Omega]}$$

$$Z_{base\ 3} = Z_{base\ 4} = Z_{base\ 5} = \frac{0.48^2}{5} = 38.088 \text{ [\Omega]}$$

Obtención de los valores de impedancia en por unidad de cada elemento.*Acometida:*

$$Z_{pu} = \left(\frac{5}{350} \right) \left(\frac{1}{1} \right)^2 = 0.01429$$

$$R_{pu} = \frac{0.0143}{\sqrt{1 + 20^2}} = 0.00071$$

$$X_{pu} = 0.00071 \times 20 = 0.01427$$

Generadores 1, 2 y 3:

Redes 1 y 2

$$X_{pu} = (0.28) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 \left(\frac{5000}{3250} \right) = 0.43077$$

$$X_{pu} = 0.43077 \times 1 = 0.43077$$

$$R_{pu} = \frac{0.43077}{28} = 0.01538$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.0

de la figura N1.2

$$X/R = 28$$

Red 3

$$X_{pu} = (0.44) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 \left(\frac{5000}{3250} \right) = 0.67692$$

$$X_{pu} = 0.67692 \times 1 = 0.67692$$

$$R_{pu} = \frac{0.67692}{28} = 0.02426$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.0

de la figura N1.2

$$X/R = 28$$

Motores de inducción 1 y 2:

Red 1

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{5.59} \right) \left(\frac{5000 \times 0.9 \times 0.948}{0.746 \times 1500} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 0.68199$$

$$X_{pu} = 0.68199 \times 1.0 = 0.68199$$

$$R_{pu} = \frac{0.68199}{37} = 0.01843$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.0

de la figura N1.3

$$X/R = 37$$

Red 2

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{5.59} \right) \left(\frac{5000 \times 0.9 \times 0.948}{0.746 \times 1500} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 0.68199$$

$$X_{pu} = 0.68199 \times 1.5 = 1.02299$$

$$R_{pu} = \frac{1.02299}{37} = 0.02765$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.5

de la figura N1.3

$$X/R = 37$$

Red 3
No aplica

Motor de inducción 3:

Red 1

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{4.49} \right) \left(\frac{5000 \times 0.89 \times 0.94}{0.746 \times 900} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 1.38759$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.0

$$X_{pu} = 1.38759 \times 1.0 = 1.38759$$

de la figura N1.3

$X/R = 28$

$$R_{pu} = \frac{1.38759}{28} = 0.04956$$

Red 2

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{4.49} \right) \left(\frac{5000 \times 0.89 \times 0.94}{0.746 \times 900} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 1.38759$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.5

$$X_{pu} = 1.38759 \times 1.5 = 2.08138$$

de la figura N1.3

$X/R = 28$

$$R_{pu} = \frac{2.08138}{28} = 0.07434$$

Red 3
No aplica

Motor de inducción 4:

Red 1

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{6.29} \right) \left(\frac{5000 \times 0.885 \times 0.916}{0.746 \times 200} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 4.31906$$

de la tabla 4-1

Factor = 1.2

$$X_{pu} = 4.31906 \times 1.2 = 5.18287$$

de la figura N1.3

$X/R = 12$

$$R_{pu} = \frac{5.18287}{12} = 0.43191$$

Red 2

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{6.29} \right) \left(\frac{5000 \times 0.885 \times 0.916}{0.746 \times 200} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 4.31906$$

de la tabla 4-1

Factor = 3.0

$$X_{pu} = 4.31906 \times 3.0 = 12.95718$$

de la figura N1.3 $X/R = 12$

$$R_{pu} = \frac{12.95718}{12} = 1.07977$$

Red 3
No aplica

Motores de inducción 5, 6, 7, 8 y 9:

Red 1

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{6.29} \right) \left(\frac{5000 \times 0.879 \times 0.81}{0.746 \times 50} \right) \left(\frac{0.46}{0.48} \right)^2 = 13.93534$$

de la tabla 4-1 Factor = 1.2

$$X_{pu} = 13.93534 \times 1.2 = 16.72244$$

de la figura N1.3 $X/R = 6$

$$R_{pu} = \frac{16.72244}{6} = 2.78707$$

Red 2

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{6.29} \right) \left(\frac{5000 \times 0.879 \times 0.81}{0.746 \times 50} \right) \left(\frac{0.46}{0.48} \right)^2 = 13.93534$$

de la tabla 4-1 Factor = 3.0

$$X_{pu} = 13.93534 \times 3.0 = 41.80602$$

de la figura N1.3 $X/R = 6$

$$R_{pu} = \frac{41.80602}{6} = 6.96767$$

Red 3
No aplica

Motores de inducción agrupados 1:

Red 1

de la nota de la tabla 4-2 $X = 0.28$

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{0.28} \right) \left(\frac{5000}{34.5} \right) \left(\frac{0.46}{0.48} \right)^2 = 37.26852$$

de la figura N1.3 $X/R = 6$

$$R_{pu} = \frac{37.26852}{6} = 6.21142$$

Red 2
No aplica

Red 3
No aplica

Motores de inducción agrupados 2:

Red 1

de la nota de la tabla 4-2 $X = 0.28$

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{0.28} \right) \left(\frac{5000}{40} \right) \left(\frac{0.46}{0.48} \right)^2 = 32.14410$$

de la figura N1.3 $X/R = 6$

$$R_{pu} = \frac{32.14410}{6} = 5.35735$$

Red 2
No aplica

Red 3
No aplica

Transformador 1:

Redes 1, 2 y 3

$$Z_{pu} = (0.055) \left(\frac{5.0}{5.0} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 0.055$$

de la figura N1.1 $X/R = 13$

$$R_{pu} = \frac{0.055}{\sqrt{1+13^2}} = 0.00422$$

$$X_{pu} = 0.00422 \times 13 = 0.05484$$

Transformador 2:

Redes 1, 2 y 3

$$Z_{pu} = (0.0572) \left(\frac{5.0}{0.75} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 0.38133$$

de la figura N1.1 $X/R = 5$

$$R_{pu} = \frac{0.38133}{\sqrt{1+5^2}} = 0.07479$$

$$X_{pu} = 0.07479 \times 5 = 0.37393$$

Red 2
No aplica

Red 3
No aplica

Motores de inducción agrupados 2:

Red 1

de la nota de la tabla 4-2 $X = 0.28$

$$X_{pu} = \left(\frac{1}{0.28} \right) \left(\frac{5000}{40} \right) \left(\frac{0.46}{0.48} \right)^2 = 32.14410$$

de la figura N1.3 $X/R = 6$

$$R_{pu} = \frac{32.14410}{6} = 5.35735$$

Red 2
No aplica

Red 3
No aplica

Transformador 1:

Redes 1, 2 y 3

$$Z_{pu} = (0.055) \left(\frac{5.0}{5.0} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 0.055$$

de la figura N1.1 $X/R = 13$

$$R_{pu} = \frac{0.055}{\sqrt{1+13^2}} = 0.00422$$

$$X_{pu} = 0.00422 \times 13 = 0.05484$$

Transformador 2:

Redes 1, 2 y 3

$$Z_{pu} = (0.0572) \left(\frac{5.0}{0.75} \right) \left(\frac{4.16}{4.16} \right)^2 = 0.38133$$

de la figura N1.1 $X/R = 5$

$$R_{pu} = \frac{0.38133}{\sqrt{1+5^2}} = 0.07479$$

$$X_{pu} = 0.07479 \times 5 = 0.37393$$

Cable 1:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(30) - 0.057107 = 0.02106$$

de la tabla N1.2 $D = 30''$

$$X_{pu} = (0.0818 + 0.02106) \left(\frac{165}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.0049$$

de la tabla N1.4 $X_{A1} = 0.0818$
de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0^*$
 $X_{NMG} = 1.0^*$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$R_{pu} = (0.0206) \left(\frac{165}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00107$$

de la tabla N1.4 $R = 0.0206$

Cable 2, 3 y 4:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(30) - 0.057107 = 0.02106$$

de la tabla N1.2 $D = 30''$

$$X_{pu} = (0.0839 + 0.02106) \left(\frac{65.6}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00199$$

de la tabla N1.4 $X_{A1} = 0.0839$
de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0^*$
 $X_{NMG} = 1.0^*$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$R_{pu} = (0.0246) \left(\frac{65.6}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00051$$

de la tabla N1.4 $R = 0.0246$

Cable 5:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(30) - 0.057107 = 0.02106$$

de la tabla N1.2 $D = 30''$

$$X_{pu} = (0.0953 + 0.02106) \left(\frac{164}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00551$$

de la tabla N1.4 $X_{A1} = 0.0953$
de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0^*$
 $X_{NMG} = 1.0^*$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

de la tabla N1.4 $R = 0.0574$

$$R_{pu} = (0.0574) \left(\frac{164}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00296$$

Cable 6:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(30) - 0.057107 = 0.02106$$

de la tabla N1.2 $D = 30''$
de la tabla N1.4 $X_A = 0.0953$
de la tabla N1.7 $XMG = 1.0^*$
 $XNMG = 1.0^*$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.0953 + 0.02106) \left(\frac{170.6}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00574$$

de la tabla N1.4 $R = 0.0574$

$$R_{pu} = (0.0574) \left(\frac{170.6}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00308$$

Cable 7:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(30) - 0.057107 = 0.02106$$

de la tabla N1.2 $D = 30''$
de la tabla N1.4 $X_A = 0.101$
de la tabla N1.7 $XMG = 1.0^*$
 $XNMG = 1.0^*$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.101 + 0.02106) \left(\frac{177.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00625$$

de la tabla N1.4 $R = 0.0911$

$$R_{pu} = (0.0911) \left(\frac{177.1}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00507$$

Cable 8:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(30) - 0.057107 = 0.02106$$

de la tabla N1.2 $D = 30''$
de la tabla N1.4 $X_A = 0.121$
de la tabla N1.7 $XMG = 1.0^*$
 $XNMG = 1.0^*$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.121 + 0.02106) \left(\frac{131.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.00538$$

de la tabla N1.4 $R = 0.453$

$$R_{pu} = (0.453) \left(\frac{131.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{4.16^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.01868$$

Cable 9:

Redes 1, 2 y 3:

de la tabla N1.2 $D = 18''$

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$$

de la tabla N1.4 $X_A = 0.079$
de la tabla N1.7 $XMG = 1.0$ *
 $XNMG = 1.0$ *

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.079 + 0.00932) \left(\frac{49.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.0943$$

de la tabla N1.4 $R = 0.0168$

$$R_{pu} = (0.0168) \left(\frac{49.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.01951$$

Cable 10:

Redes 1, 2 y 3:

de la tabla N1.2 $D = 18''$

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$$

de la tabla N1.4 $X_A = 0.0883$
de la tabla N1.7 $XMG = 1.0$ *
 $XNMG = 1.0$ *

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.0883 + 0.00932) \left(\frac{262.4}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.55588$$

de la tabla N1.4 $R = 0.0348$

$$R_{pu} = (0.0348) \left(\frac{262.4}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.21558$$

Cable 11:

Redes 1, 2 y 3:

de la tabla N1.2 $D = 18''$

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$$

de la tabla N1.4 $X_A = 0.113$
de la tabla N1.7 $XMG = 1.0$ *

$$X_{NMG} = 1.0 *$$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.113 + 0.00932) \left(\frac{49.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.1306$$

de la tabla N1.4 $R = 0.288$

$$R_{pu} = (0.288) \left(\frac{49.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.33452$$

Cable 12:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$$

de la tabla N1.2 $D = 18''$

de la tabla N1.4 $X_A = 0.113$

de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0 *$

$$X_{NMG} = 1.0 *$$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.113 + 0.00932) \left(\frac{55.7}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.14785$$

de la tabla N1.4 $R = 0.288$

$$R_{pu} = (0.288) \left(\frac{55.7}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.37872$$

Cable 13:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$$

de la tabla N1.2 $D = 18''$

de la tabla N1.4 $X_A = 0.108$

de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0 *$

$$X_{NMG} = 1.0 *$$

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.108 + 0.00932) \left(\frac{98.4}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.25052$$

de la tabla N1.4 $R = 0.181$

$$R_{pu} = (0.181) \left(\frac{98.4}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.42047$$

Cable 14:

Redes 1, 2 y 3:

$$X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$$

de la tabla N1.2 $D = 18''$

de la tabla N1.4 $X_{,1} = 0.108$
 de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0$ *
 $X_{NMG} = 1.0$ *

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.108 + 0.00932) \left(\frac{108.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.27547$$

$$R_{pu} = (0.181) \left(\frac{108.2}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.46235$$

de la tabla N1.4 $R = 0.181$

Cable 15:

Redes 1, 2 y 3:

de la tabla N1.2 $D = 18''$
 $X_B = 0.052917 \log_{10}(18) - 0.057107 = 0.00932$
 de la tabla N1.4 $X_{,1} = 0.108$
 de la tabla N1.7 $X_{MG} = 1.0$ *
 $X_{NMG} = 1.0$ *

* se recomienda usar estos valores cuando el circuito está en ducto no magnético

$$X_{pu} = (0.108 + 0.00932) \left(\frac{118.1}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{1.0}{1.0} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.30068$$

$$R_{pu} = (0.181) \left(\frac{118.1}{1000} \right) \left(\frac{5.0}{0.48^2} \right) \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + 50} \right) \left(\frac{3}{3} \right) = 0.50465$$

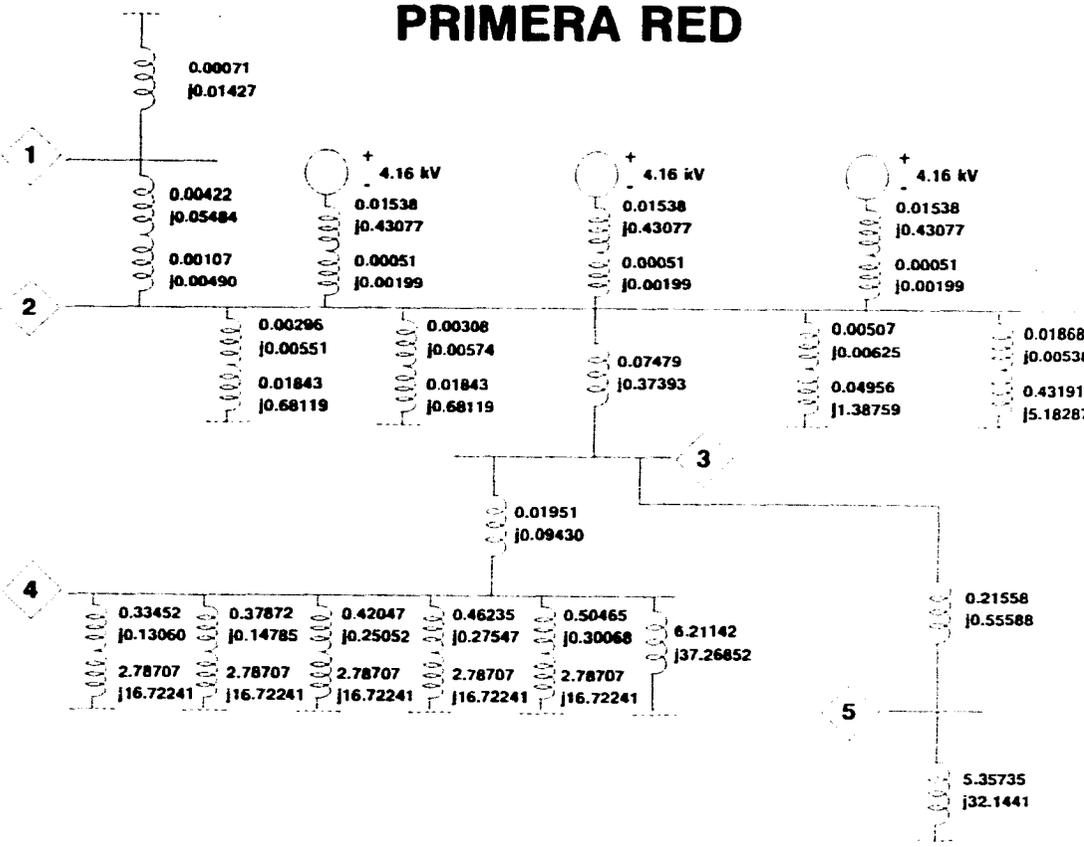
de la tabla N1.4 $R = 0.181$

RED 1										
BUS	R _{pu}	X _{pu}	X/R	Z _{pu}	KV	USO	Fm	I _{sim} [KA]	I _{asim} [KA]	P _{asim} [MVA]
1	0.00066	0.0130	19.742	0.013046705	4.16	F	1.55	16.03470	24.85379	115.53533
1	0.00066	0.0130	19.742	0.013046705	4.16	I	1.6	16.03470	25.65552	115.53533
2	0.00255	0.0407	15.973	0.040809746	4.16	F	1.55	17.00329	26.35510	122.51435
2	0.00255	0.0407	15.973	0.040809746	4.16	I	1.6	17.00329	27.20527	122.51435
3	0.06768	0.3634	5.3695	0.369658505	0.48	F	1.55	16.26934	25.21748	13.52608
3	0.06768	0.3634	5.3695	0.369658505	0.48	I	1.12	16.26934	18.22166	13.52608
4	0.08224	0.4338	5.2752	0.44155621	0.48	F	1.55	13.62024	21.11137	11.32365
4	0.08224	0.4338	5.2752	0.44155621	0.48	I	1.122	13.62024	15.28191	11.32365
5	0.27254	0.8985	3.2968	0.938925078	0.48	F	1.2	6.40530	7.68636	5.32527
5	0.27254	0.8985	3.2968	0.938925078	0.48	I	1.066	6.40530	6.82805	5.32527

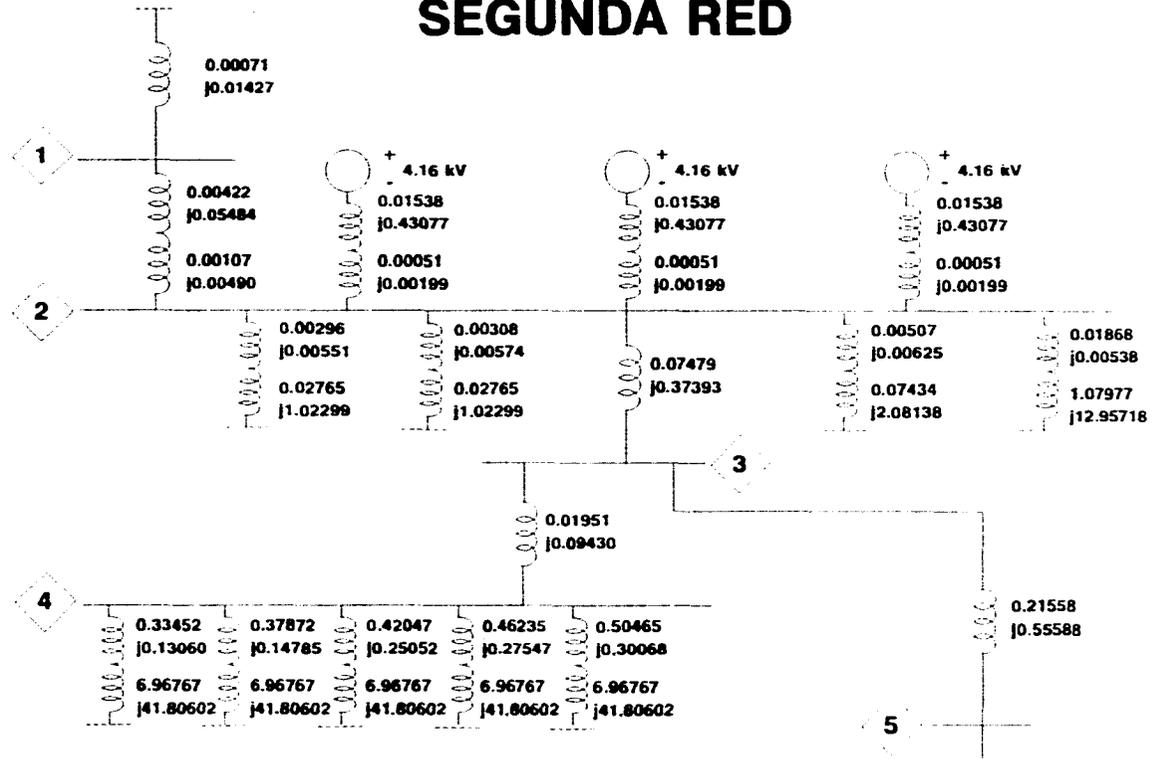
RED 2										
BUS	R _{pu}	X _{pu}	X/R	Z _{pu}	KV	INTERRUPCIÓN	Fm	I _{sim} [KA]	I _{asim} [KA]	P _{asim} [MVA]
1	0.00066	0.0131	19.894	0.013146578	4.16	Simétrica	1.05	15.91289	16.70853	114.65762
1	0.00066	0.0131	19.894	0.013146578	4.16	Total	1.13	15.91289	17.98156	114.65762
2	0.00273	0.04341	15.901	0.043495758	4.16	Simétrica	0.995	15.95328	15.87351	114.94867
2	0.00273	0.04341	15.901	0.043495758	4.16	Total	1.071	15.95328	17.08596	114.94867

RED 3										
BUS	R _{pu}	X _{pu}	X/R	Z _{pu}	KV	USO	Fm	I _{sim} [KA]	I _{asim} [KA]	P _{asim} [MVA]
1	0.00067	0.01359	20.284	0.013606506	4.16	-----	1	15.37500	15.37500	110.78196
2	0.00391	0.05579	14.269	0.055927844	4.16	-----	1	12.40706	12.40706	89.39696
3	0.0787	0.42972	5.4602	0.436867221	0.48	-----	1	13.76643	13.76643	11.44519
4	0.09821	0.5240	5.3357	0.533143662	0.48	-----	1	11.28045	11.28045	9.37839
5	0.29428	0.9856	3.3492	1.028595197	0.48	-----	1	5.84691	5.84691	4.86103

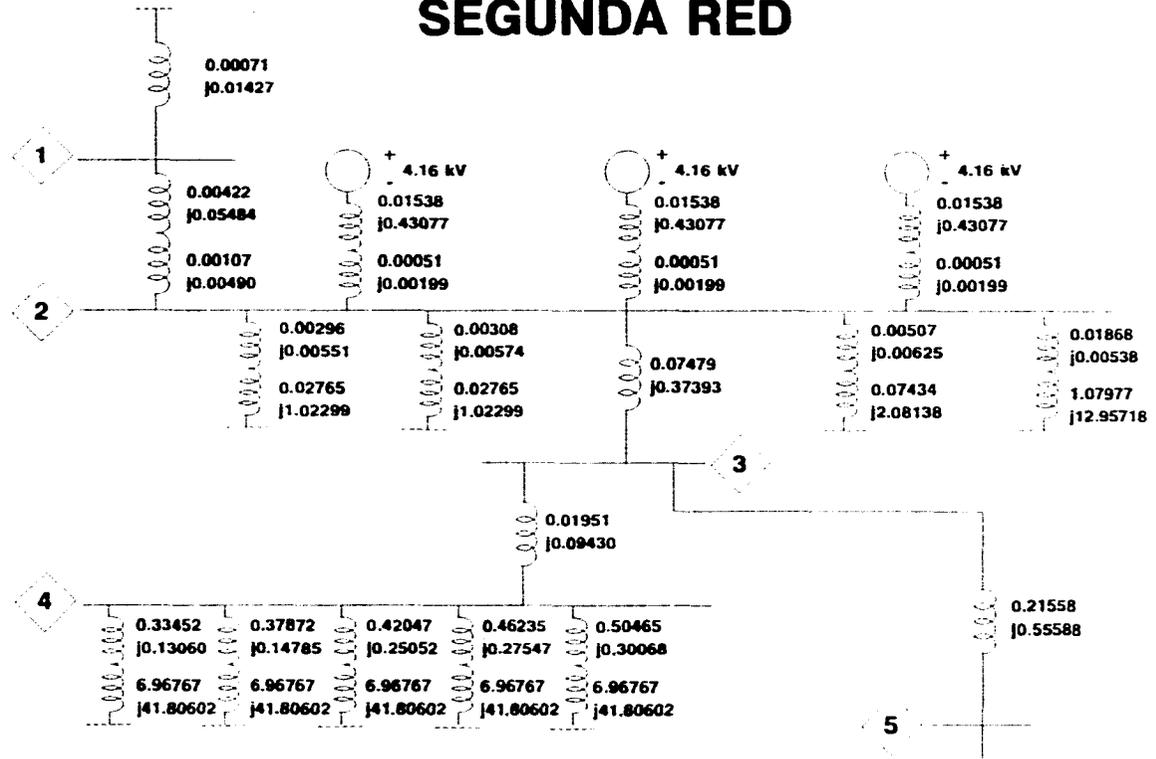
PRIMERA RED



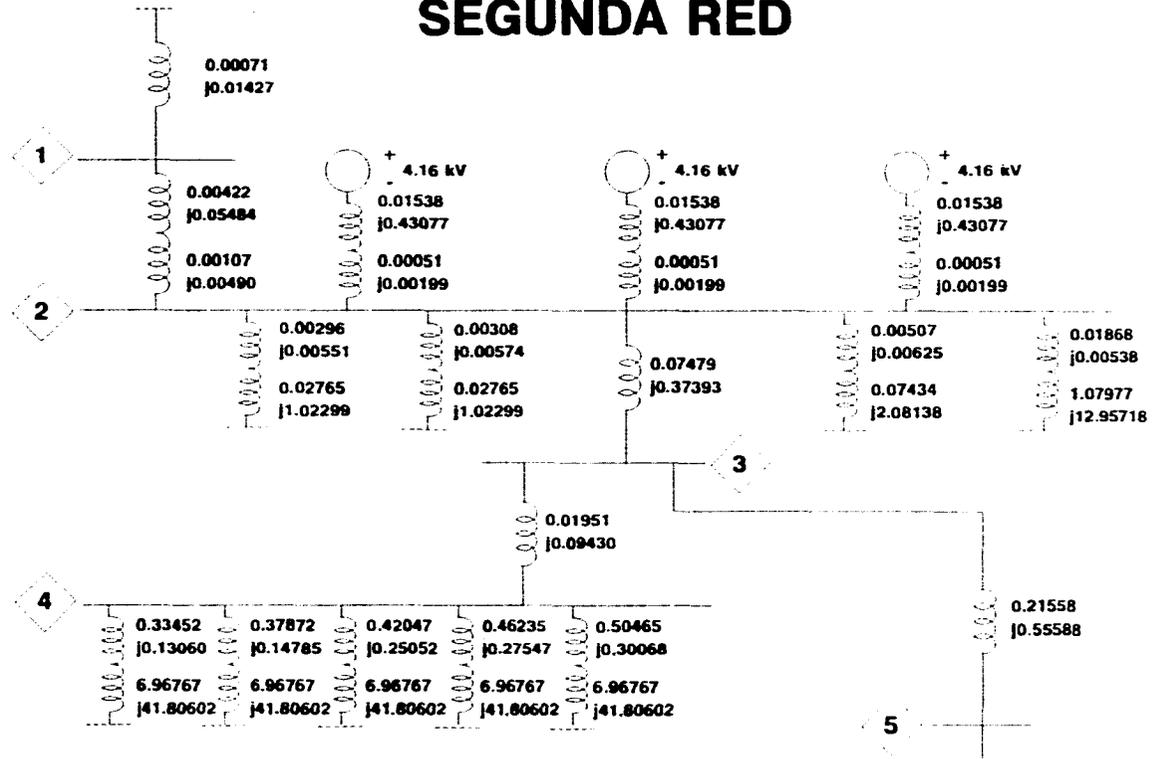
SEGUNDA RED



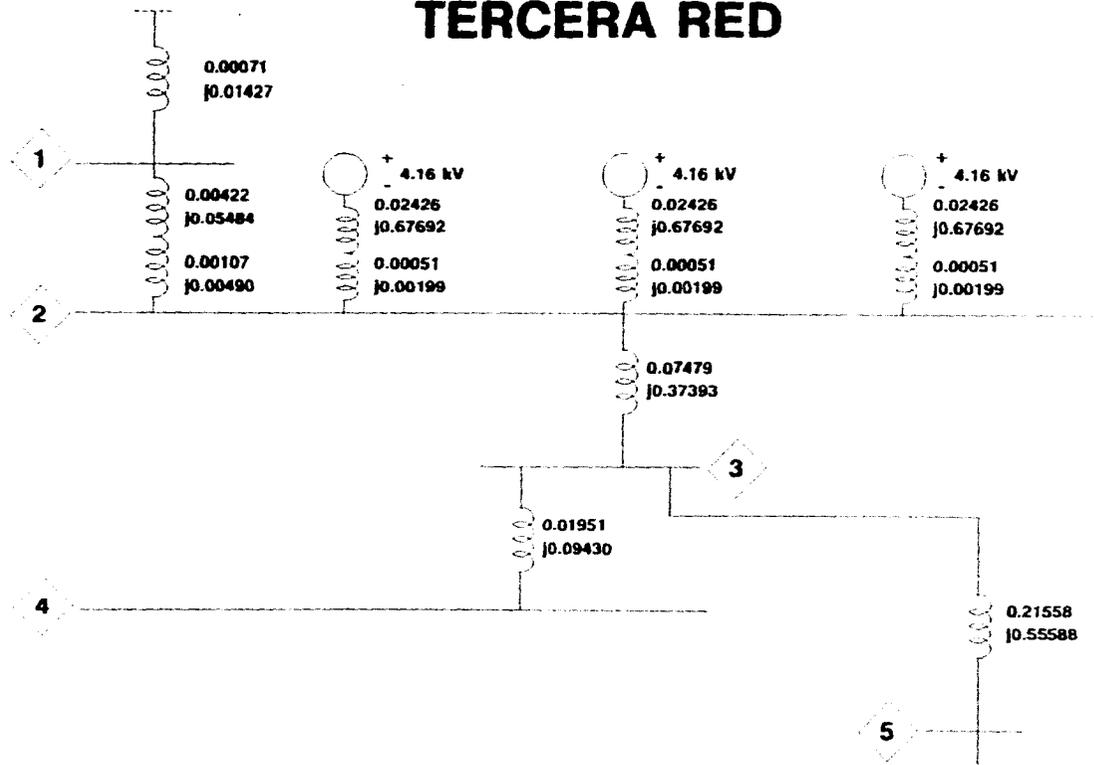
SEGUNDA RED



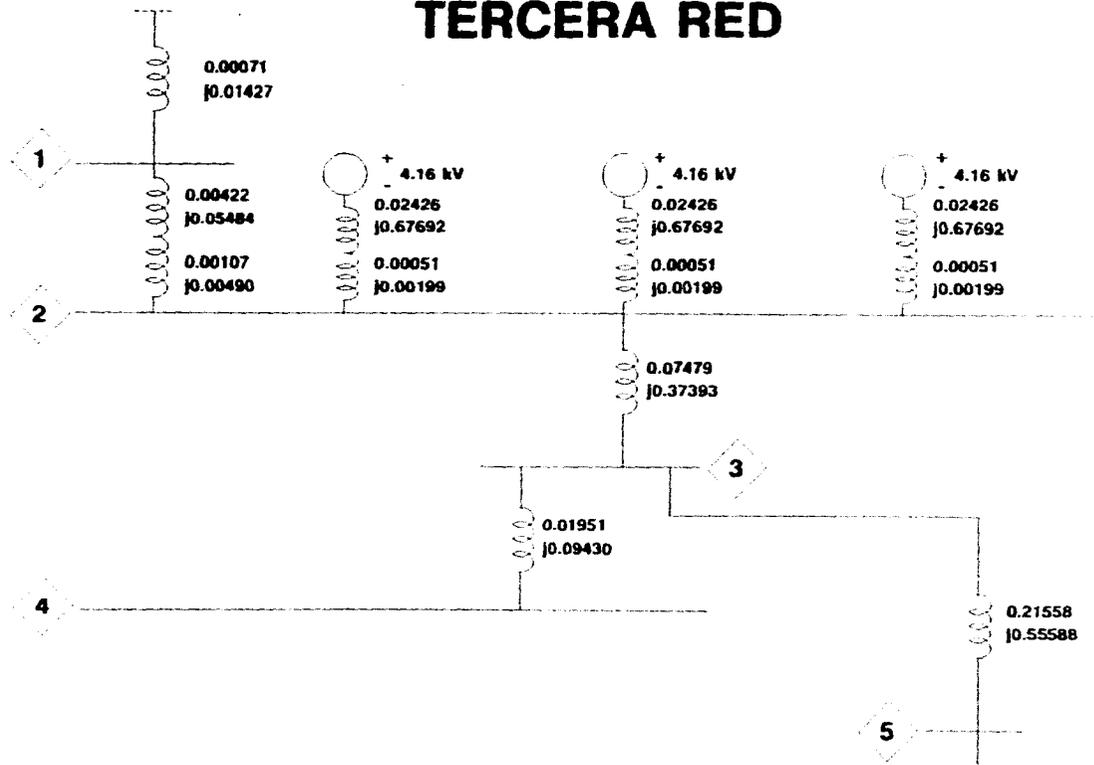
SEGUNDA RED



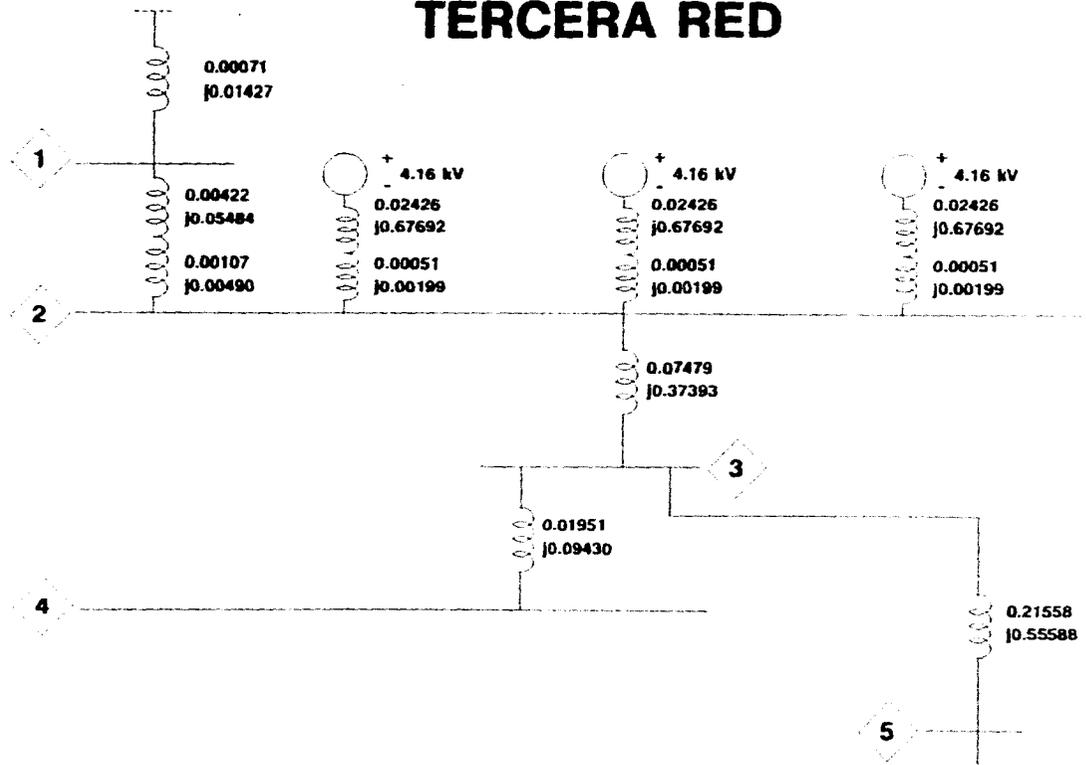
TERCERA RED



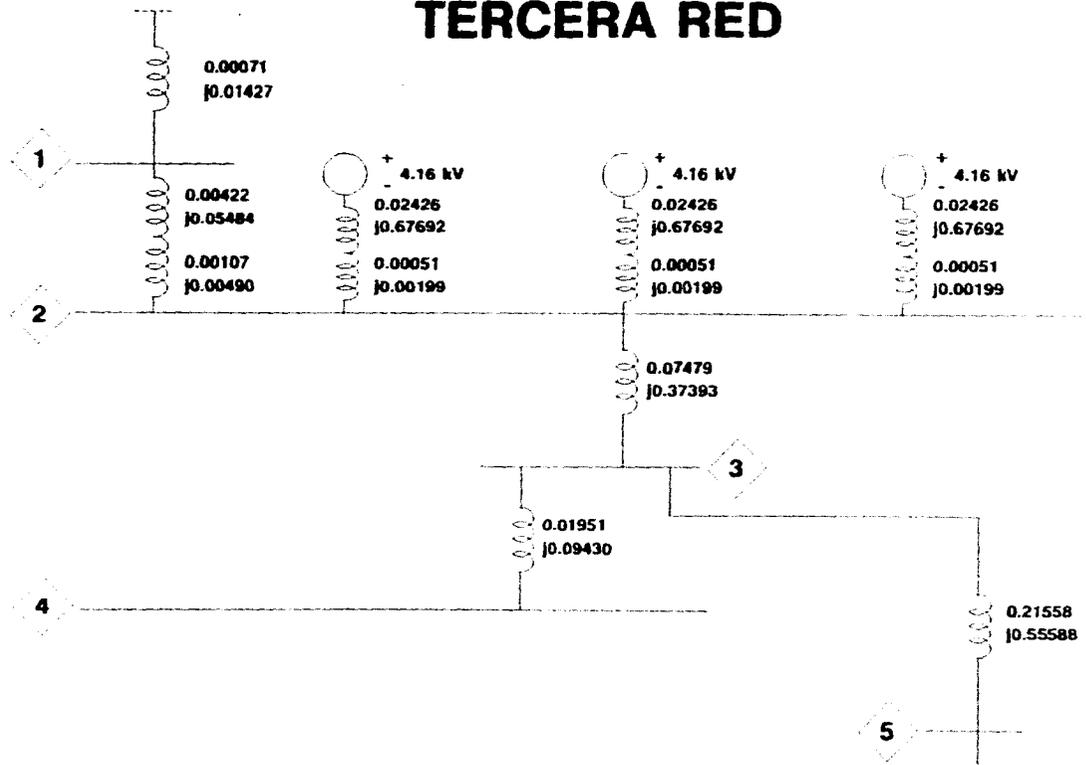
TERCERA RED



TERCERA RED



TERCERA RED



MÉTODO DIRECTO

Reduciendo en cada uno de los buses obtenemos los siguientes valores de impedancias de Thevenin para cada una de las redes:

RED 1					
BUS	R_{pu}	X_{pu}	X/R	Z_{pu}	KV
1	0.00066	0.0130	19.7424	0.01305	4.16
2	0.00255	0.0407	15.9725	0.04081	4.16
3	0.06768	0.3634	5.36953	0.36966	0.48
4	0.08224	0.4338	5.27517	0.44156	0.48
5	0.27254	0.8985	3.29676	0.93893	0.48

RED 2					
BUS	R_{pu}	X_{pu}	X/R	Z_{pu}	KV
1	0.00066	0.0131	19.8939	0.01315	4.16
2	0.00273	0.04341	15.9011	0.0435	4.16

RED 3					
BUS	R_{pu}	X_{pu}	X/R	Z_{pu}	KV
1	0.00067	0.01359	20.2836	0.01361	4.16
2	0.00391	0.05579	14.2688	0.05593	4.16
3	0.0787	0.42972	5.46023	0.43687	0.48
4	0.09821	0.5240	5.33571	0.53314	0.48
5	0.29428	0.9856	3.34919	1.0286	0.48

MÉTODO Zbus

PRIMERA RED

Para obtener los elementos que componen la matriz de admitancias, primero resumimos los elementos en serie del diagrama de impedancias de la primera red, posteriormente obtenemos las admitancias de los elementos resultantes y se procede a generar la matriz de admitancias:

$$Y_{bus1} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.37478 - j29.92012 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 - j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.16221 - j10.48019 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.61150 - j1.59403 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus1} = [Y_{bus1}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus1} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01303 & 0.00025 + j0.00785 & 0.00021 + j0.00695 & 0.00020 + j0.00675 & 0.00018 + j0.00683 \\ 0.00025 + j0.00785 & 0.00255 + j0.04073 & 0.00221 + j0.03609 & 0.00212 + j0.03503 & 0.00204 + j0.03546 \\ 0.00021 + j0.00695 & 0.00221 + j0.03609 & 0.06768 + j0.36341 & 0.06549 + j0.35270 & 0.06519 + j0.35725 \\ 0.00020 + j0.00675 & 0.00212 + j0.03503 & 0.06549 + j0.35270 & 0.08224 + j0.43383 & 0.06307 + j0.34672 \\ 0.00018 + j0.00683 & 0.00204 + j0.03546 & 0.06519 + j0.35725 & 0.06307 + j0.34672 & 0.27254 + j0.89805 \end{bmatrix}$$

MÉTODO Zbus

PRIMERA RED

Para obtener los elementos que componen la matriz de admitancias, primero resumimos los elementos en serie del diagrama de impedancias de la primera red, posteriormente obtenemos las admitancias de los elementos resultantes y se procede a generar la matriz de admitancias:

$$Y_{bus1} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.37478 - j29.92012 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 - j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.16221 - j10.48019 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.61150 - j1.59403 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus1} = [Y_{bus1}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus1} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01303 & 0.00025 + j0.00785 & 0.00021 + j0.00695 & 0.00020 + j0.00675 & 0.00018 + j0.00683 \\ 0.00025 + j0.00785 & 0.00255 + j0.04073 & 0.00221 + j0.03609 & 0.00212 + j0.03503 & 0.00204 + j0.03546 \\ 0.00021 + j0.00695 & 0.00221 + j0.03609 & 0.06768 + j0.36341 & 0.06549 + j0.35270 & 0.06519 + j0.35725 \\ 0.00020 + j0.00675 & 0.00212 + j0.03503 & 0.06549 + j0.35270 & 0.08224 + j0.43383 & 0.06307 + j0.34672 \\ 0.00018 + j0.00683 & 0.00204 + j0.03546 & 0.06519 + j0.35725 & 0.06307 + j0.34672 & 0.27254 + j0.89805 \end{bmatrix}$$

MÉTODO Zbus

PRIMERA RED

Para obtener los elementos que componen la matriz de admitancias, primero resumimos los elementos en serie del diagrama de impedancias de la primera red, posteriormente obtenemos las admitancias de los elementos resultantes y se procede a generar la matriz de admitancias:

$$Y_{bus1} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.37478 - j29.92012 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 - j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.16221 - j10.48019 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.61150 - j1.59403 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus1} = [Y_{bus1}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus1} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01303 & 0.00025 + j0.00785 & 0.00021 + j0.00695 & 0.00020 + j0.00675 & 0.00018 + j0.00683 \\ 0.00025 + j0.00785 & 0.00255 + j0.04073 & 0.00221 + j0.03609 & 0.00212 + j0.03503 & 0.00204 + j0.03546 \\ 0.00021 + j0.00695 & 0.00221 + j0.03609 & 0.06768 + j0.36341 & 0.06549 + j0.35270 & 0.06519 + j0.35725 \\ 0.00020 + j0.00675 & 0.00212 + j0.03503 & 0.06549 + j0.35270 & 0.08224 + j0.43383 & 0.06307 + j0.34672 \\ 0.00018 + j0.00683 & 0.00204 + j0.03546 & 0.06519 + j0.35725 & 0.06307 + j0.34672 & 0.27254 + j0.89805 \end{bmatrix}$$

MÉTODO Zbus

PRIMERA RED

Para obtener los elementos que componen la matriz de admitancias, primero resumimos los elementos en serie del diagrama de impedancias de la primera red, posteriormente obtenemos las admitancias de los elementos resultantes y se procede a generar la matriz de admitancias:

$$Y_{bus1} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.37478 - j29.92012 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 - j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.16221 - j10.48019 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.61150 - j1.59403 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus1} = [Y_{bus1}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus1} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01303 & 0.00025 + j0.00785 & 0.00021 + j0.00695 & 0.00020 + j0.00675 & 0.00018 + j0.00683 \\ 0.00025 + j0.00785 & 0.00255 + j0.04073 & 0.00221 + j0.03609 & 0.00212 + j0.03503 & 0.00204 + j0.03546 \\ 0.00021 + j0.00695 & 0.00221 + j0.03609 & 0.06768 + j0.36341 & 0.06549 + j0.35270 & 0.06519 + j0.35725 \\ 0.00020 + j0.00675 & 0.00212 + j0.03503 & 0.06549 + j0.35270 & 0.08224 + j0.43383 & 0.06307 + j0.34672 \\ 0.00018 + j0.00683 & 0.00204 + j0.03546 & 0.06519 + j0.35725 & 0.06307 + j0.34672 & 0.27254 + j0.89805 \end{bmatrix}$$

SEGUNDA RED

Procediendo de manera similar que en la primera red obtenemos la siguiente matriz de admitancias:

$$Y_{bus2} = \begin{bmatrix} 49.4879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.32183 - j28.60088 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.12422 - j10.28458 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus2} = [Y_{bus2}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus2} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01313 & 0.00026 + j0.00836 & 0.00025 + j0.00801 & 0.00024 + j0.00792 & 0.00025 + j0.00801 \\ 0.00026 + j0.00836 & 0.00273 + j0.04340 & 0.00257 + j0.04156 & 0.00253 + j0.04110 & 0.00257 + j0.04156 \\ 0.00025 + j0.00801 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07370 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.07371 + j0.39799 \\ 0.00024 + j0.00792 & 0.00253 + j0.04110 & 0.07275 + j0.39357 & 0.09107 + j0.48246 & 0.07275 + j0.39357 \\ 0.00025 + j0.00792 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07371 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.28929 + j0.95387 \end{bmatrix}$$

SEGUNDA RED

Procediendo de manera similar que en la primera red obtenemos la siguiente matriz de admitancias:

$$Y_{bus2} = \begin{bmatrix} 49.4879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.32183 - j28.60088 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.12422 - j10.28458 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus2} = [Y_{bus2}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus2} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01313 & 0.00026 + j0.00836 & 0.00025 + j0.00801 & 0.00024 + j0.00792 & 0.00025 + j0.00801 \\ 0.00026 + j0.00836 & 0.00273 + j0.04340 & 0.00257 + j0.04156 & 0.00253 + j0.04110 & 0.00257 + j0.04156 \\ 0.00025 + j0.00801 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07370 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.07371 + j0.39799 \\ 0.00024 + j0.00792 & 0.00253 + j0.04110 & 0.07275 + j0.39357 & 0.09107 + j0.48246 & 0.07275 + j0.39357 \\ 0.00025 + j0.00792 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07371 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.28929 + j0.95387 \end{bmatrix}$$

SEGUNDA RED

Procediendo de manera similar que en la primera red obtenemos la siguiente matriz de admitancias:

$$Y_{bus2} = \begin{bmatrix} 49.4879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.32183 - j28.60088 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.12422 - j10.28458 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus2} = [Y_{bus2}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus2} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01313 & 0.00026 + j0.00836 & 0.00025 + j0.00801 & 0.00024 + j0.00792 & 0.00025 + j0.00801 \\ 0.00026 + j0.00836 & 0.00273 + j0.04340 & 0.00257 + j0.04156 & 0.00253 + j0.04110 & 0.00257 + j0.04156 \\ 0.00025 + j0.00801 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07370 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.07371 + j0.39799 \\ 0.00024 + j0.00792 & 0.00253 + j0.04110 & 0.07275 + j0.39357 & 0.09107 + j0.48246 & 0.07275 + j0.39357 \\ 0.00025 + j0.00792 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07371 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.28929 + j0.95387 \end{bmatrix}$$

SEGUNDA RED

Procediendo de manera similar que en la primera red obtenemos la siguiente matriz de admitancias:

$$Y_{bus2} = \begin{bmatrix} 49.4879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.32183 - j28.60088 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.12422 - j10.28458 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus2} = [Y_{bus2}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus2} = \begin{bmatrix} 0.00066 + j0.01313 & 0.00026 + j0.00836 & 0.00025 + j0.00801 & 0.00024 + j0.00792 & 0.00025 + j0.00801 \\ 0.00026 + j0.00836 & 0.00273 + j0.04340 & 0.00257 + j0.04156 & 0.00253 + j0.04110 & 0.00257 + j0.04156 \\ 0.00025 + j0.00801 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07370 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.07371 + j0.39799 \\ 0.00024 + j0.00792 & 0.00253 + j0.04110 & 0.07275 + j0.39357 & 0.09107 + j0.48246 & 0.07275 + j0.39357 \\ 0.00025 + j0.00792 & 0.00257 + j0.04156 & 0.07371 + j0.39799 & 0.07275 + j0.39357 & 0.28929 + j0.95387 \end{bmatrix}$$

TERCERA RED

La matriz de admitancias para la tercera red es:

$$Y_{bus3} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.14605 - j23.59337 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.10393 - j10.16917 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus3} = [Y_{bus3}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus3} = \begin{bmatrix} 0.00067 + j0.01359 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.09821 + j0.52402 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.29428 + j0.98560 \end{bmatrix}$$

TERCERA RED

La matriz de admitancias para la tercera red es:

$$Y_{bus3} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.14605 - j23.59337 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.10393 - j10.16917 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus3} = [Y_{bus3}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus3} = \begin{bmatrix} 0.00067 + j0.01359 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.09821 + j0.52402 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.29428 + j0.98560 \end{bmatrix}$$

TERCERA RED

La matriz de admitancias para la tercera red es:

$$Y_{bus3} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.14605 - j23.59337 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.10393 - j10.16917 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus3} = [Y_{bus3}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus3} = \begin{bmatrix} 0.00067 + j0.01359 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.09821 + j0.52402 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.29428 + j0.98560 \end{bmatrix}$$

TERCERA RED

La matriz de admitancias para la tercera red es:

$$Y_{bus3} = \begin{bmatrix} 4.94879 - j86.51300 & -1.47073 + j16.60897 & 0 + j0 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ -1.47073 + j16.60987 & 2.14605 - j23.59337 & -0.51431 + j2.57143 & 0 + j0 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & -0.51431 + j2.57143 & 3.22469 - j14.30435 & -2.10393 + j10.16917 & -0.60645 + j1.56376 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -2.10393 + j10.16917 & 2.10393 - j10.16917 & 0 + j0 \\ 0 + j0 & 0 + j0 & -0.60645 + j1.56376 & 0 + j0 & 0.60645 - j1.56376 \end{bmatrix}$$

La matriz $Z_{bus3} = [Y_{bus3}]^{-1}$, por lo tanto:

$$Z_{bus3} = \begin{bmatrix} 0.00067 + j0.01359 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 & 0.00042 + j0.01075 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 & 0.00391 + j0.05579 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.09821 + j0.52402 & 0.07870 + j0.42972 \\ 0.00042 + j0.01075 & 0.00391 + j0.05579 & 0.07870 + j0.42972 & 0.07870 + j0.42972 & 0.29428 + j0.98560 \end{bmatrix}$$

PROGRAMA.

A continuación se muestra el archivo de datos, y los archivos de resultados para las tres redes del problema.

El archivo de datos completo se muestra a continuación.

```

5  4  5.00000
  1 13.80000  1 REM  3.00000  3.00000  5.00000
  1
SUMI
350.00000 13.80000 13.80000 20.00000
  2  4.16000  7 REM  3.00000  3.00000  5.00000
  2

CABL
  1.00000 500.00000 65.60000  1.00000  1.00000 30.00000
.08390  .02460  4.16000 75.00000
GENE
  3.25000  4.16000  4.16000  .28000  .44000  .00000
  2
CABL
  1.00000 500.00000 65.60000  1.00000  1.00000 30.00000
.08390  .02460  4.16000 75.00000
GENE
  3.25000  4.16000  4.16000  .28000  .44000  .00000
  2
CABL
  1.00000 500.00000 65.60000  1.00000  1.00000 30.00000
.08390  .02460  4.16000 75.00000
GENE
  3.25000  4.16000  4.16000  .28000  .44000  .00000
  2

```

CABL
1.00000 211.60000 164.00000 1.00000 1.00000 30.00000
.09530 .05740 4.16000 75.00000

MTIN
1500.00000 4.16000 4.16000 .90000 .94800 3570.00000
5.59000 .00000

2

CABL
1.00000 211.60000 170.60000 1.00000 1.00000 30.00000
.09530 .05740 4.16000 75.00000

MTIN
1500.00000 4.16000 4.16000 .90000 .94800 3570.00000
5.59000 .00000

2

CABL
1.00000 133.10000 177.10000 1.00000 1.00000 30.00000
.10100 .09110 4.16000 75.00000

MTIN
900.00000 4.16000 4.16000 .89000 .94000 3570.00000
4.49000 .00000

2

CABL
1.00000 26.25000 131.20000 1.00000 1.00000 30.00000
.12100 .45300 4.16000 75.00000

MTIN
200.00000 4.16000 4.16000 .88500 .91600 1780.00000
6.29000 .00000

3 .48000 0 REM 3.00000 3.00000 5.00000
4 .48000 6 REM 3.00000 3.00000 5.00000

2

CABL
1.00000 41.74000 49.20000 1.00000 1.00000 18.00000
.11300 .28800 .48000 75.00000

```

MTIN
 50.00000  .46000  .48000  .81000  .87900 1765.00000
6.29000  .00000
 2
CABL
 1.00000  41.74000  55.70000  1.00000  1.00000  18.00000
.11300  .28800  .48000  75.00000
MTIN
 50.00000  .46000  .48000  .81000  .87900 1765.00000
6.29000  .00000
 2
CABL
 1.00000  66.37000  98.40000  1.00000  1.00000  18.00000
.10800  .18100  .48000  75.00000
MTIN
 50.00000  .46000  .48000  .81000  .87900 1765.00000
6.29000  .00000
 2

CABL
 1.00000  66.37000  108.20000  1.00000  1.00000  18.00000
.10800  .18100  .48000  75.00000
MTIN
 50.00000  .46000  .48000  .81000  .87900 1765.00000
6.29000  .00000
 2
CABL
 1.00000  66.37000  118.10000  1.00000  1.00000  18.00000
.10800  .18100  .48000  75.00000
MTIN
 50.00000  .46000  .48000  .81000  .87900 1765.00000
6.29000  .00000
 1

```

MTIA
34.50000 .46000 .48000 .00000 .00000
5 .48000 1 REM 3.00000 3.00000 5.00000
1

MTIA
40.00000 .46000 .48000 .00000 .00000
1 2 2

TRAN
5.00000 4.16000 4.16000 5.50000 0.00000

CABL
1.00000 600.00000 165.00000 1.00000 1.00000 30.00000
.08180 .02060 4.16000 75.00000
2 3 1

TRAN
.75000 4.16000 4.16000 5.72000 .00000
3 4 1

CABL
1.00000 750.00000 49.20000 1.00000 1.00000 18.00000
.07900 .01680 .48000 75.00000
3 5 1

CABL
1.00000 350.00000 262.40000 1.00000 1.00000 18.00000
.08830 .03480 .48000 75.00000

Los archivos de resultados son los siguientes:

APLICACION DE LA NORMA ANSI/IEEE 141 DE 1993

E J E M P L O

RED: 1 POTENCIA BASE: 5.000 [MVA]

CANTIDADES EN POR UNIDAD

ELEMENTO	Rpu	Xpu
SUMI	.0007	.0143
CABL	.0005	.0020
GENE	.0161	.4308
CABL	.0005	.0020
GENE	.0161	.4308
CABL	.0005	.0020
GENE	.0161	.4308
CABL	.0030	.0055
MTIN	.0184	.6820
CABL	.0031	.0057
MTIN	.0184	.6820
CABL	.0051	.0062
MTIN	.0428	1.3876
CABL	.0187	.0054
MTIN	.4320	5.1829
CABL	.3345	.1306
MTIN	2.7748	16.7224
CABL	.3787	.1479
MTIN	2.7748	16.7224
CABL	.4205	.2505
MTIN	2.7748	16.7224
CABL	.4624	.2755
MTIN	2.7748	16.7224
CABL	.5047	.3007

MTIN	2.7748	16.7224
MTIA	6.2114	37.2685
MTIA	5.3573	32.1441
TRAN	.0045	.0548
CABL	.0011	.0049
TRAN	.0868	.3713
CABL	.0195	.0943
CABL	.2156	.5559

ANALISIS DE CORTO CIRCUITO

BUS: 1 (13.800 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0007	.0130	19.6810	.0130	F	1.550	24.847	593.910
.0007	.0130	19.6310	.0130	I	1.600	25.649	613.069

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
SUMI 0	.0007	.0143	.0143	F	1.550	22.693	542.426
SUMI 0	.0007	.0143	.0143	I	1.600	23.426	559.924
CABL 2	.0056	.0597	.0600	F	1.550	2.154	51.487
CABL 2	.0056	.0597	.0600	I	1.600	2.224	53.148

BUS: 2 (4.160 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0027	.0407	15.3254	.0408	F	1.550	26.351	189.870
.0027	.0407	15.3254	.0408	I	1.600	27.201	195.995

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
GENE 0	.0166	.4328	.4331	F	1.550	2.484	17.895
GENE 0	.0166	.4328	.4331	I	1.600	2.564	18.472
GENE 0	.0166	.4328	.4331	F	1.550	2.484	17.895
GENE 0	.0166	.4328	.4331	I	1.600	2.564	18.472
GENE 0	.0166	.4328	.4331	F	1.550	2.484	17.895
GENE 0	.0166	.4328	.4331	I	1.600	2.564	18.472
MTIN 0	.0213	.6875	.6878	F	1.550	1.564	11.267
MTIN 0	.0213	.6875	.6878	I	1.600	1.614	11.631
MTIN 0	.0214	.6877	.6881	F	1.550	1.563	11.263
MTIN 0	.0214	.6877	.6881	I	1.600	1.614	11.627
MTIN 0	.0479	1.3938	1.3947	F	1.550	.771	5.557

MTIN	0	.0479	1.3938	1.3947	I	1.600	.796	5.736
MTIN	0	.4506	5.1883	5.2078	F	1.550	.207	1.488
MTIN	0	.4506	5.1883	5.2078	I	1.600	.213	1.536
CABL	1	.0056	.0597	.0600	F	1.550	14.485	104.366
CABL	1	.0056	.0597	.0600	I	1.600	14.952	107.733
TRAN	3	.0868	.3713	.3813	F	1.550	.321	2.316
TRAN	3	.0868	.3713	.3813	I	1.600	.332	2.391

BUS: 3 (.480 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0769	.3615	4.6998	.3695	F	1.550	25.225	20.972
.0769	.3615	4.6998	.3695	I	1.120	18.232	15.158

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)	
TRAN	2	.0868	.3713	.3813	F	1.550	22.083	18.359
TRAN	2	.0868	.3713	.3813	I	1.120	15.961	13.270
CABL	4	.0195	.0943	.0963	F	1.550	2.863	2.380
CABL	4	.0195	.0943	.0963	I	1.120	2.069	1.720

CABL	5	.2156	.5559	.5962	F	1.550	.281	.234
CABL	5	.2156	.5559	.5962	I	1.120	.203	.169

BUS: 4 (.480 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0909	.4320	4.7516	.4415	F	1.550	21.116	17.555
.0909	.4320	4.7516	.4415	I	1.122	15.284	12.707

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
MTIN 0	3.1093	16.8530	17.1374	F	1.550	.544	.452
MTIN 0	3.1093	16.8530	17.1374	I	1.122	.394	.327
MTIN 0	3.1535	16.8703	17.1625	F	1.550	.543	.452
MTIN 0	3.1535	16.8703	17.1625	I	1.122	.393	.327
MTIN 0	3.1953	16.9729	17.2711	F	1.550	.540	.449
MTIN 0	3.1953	16.9729	17.2711	I	1.122	.391	.325
MTIN 0	3.2372	16.9979	17.3034	F	1.550	.539	.448
MTIN 0	3.2372	16.9979	17.3034	I	1.122	.390	.324
MTIN 0	3.2795	17.0231	17.3361	F	1.550	.538	.447

Caso Práctico.

MTIN	0	3.2795	17.0231	17.3361	I	1.122	.389	.324
MTIA	0	6.2114	37.2685	37.7826	F	1.550	.247	.205
MTIA	0	6.2114	37.2685	37.7826	I	1.122	.179	.148
CABL	3	.0195	.0943	.0963	F	1.550	18.167	15.103
CABL	3	.0195	.0943	.0963	I	1.122	13.150	10.932

BUS: 5 (.480 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.2815	.8962	3.1843	.9394	F	1.200	7.682	6.387
.2815	.8962	3.1843	.9394	I	1.066	6.825	5.674

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	USO	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
MTIA 0	5.3573	32.1441	32.5875	F	1.200	.221	.184
MTIA 0	5.3573	32.1441	32.5875	I	1.066	.197	.164
CABL 3	.2156	.5559	.5962	F	1.200	7.463	6.205
CABL 3	.2156	.5559	.5962	I	1.066	6.630	5.512

APLICACION DE LA NORMA ANSI/IEEE 141 DE 1993

E J E M P L O

RED: 2 POTENCIA BASE: 5.000 [MVA]

CANTIDADES EN POR UNIDAD

ELEMENTO	Rpu	Xpu
SUMI	.0007	.0143
CABL	.0005	.0020
GENE	.0161	.4308
CABL	.0005	.0020
GENE	.0161	.4308
CABL	.0005	.0020
GENE	.0161	.4308
CABL	.0030	.0055
MTIN	.0275	1.0230
CABL	.0031	.0057
MTIN	.0275	1.0230
CABL	.0051	.0062
MTIN	.0642	2.0814
CABL	.0187	.0054
MTIN	1.0799	12.9572
CABL	.3345	.1306
MTIN	6.9370	41.8060
CABL	.3787	.1479
MTIN	6.9370	41.8060
CABL	.4205	.2505
MTIN	6.9370	41.8060
CABL	.4624	.2755
MTIN	6.9370	41.8060
CABL	.5047	.3007

MTIN	6.9370	41.8060
MTIA	.0000	.0000
MTIA	.0000	.0000
TRAN	.0045	.0548
CABL	.0011	.0049
TRAN	.0868	.3713
CABL	.0195	.0943
CABL	.2156	.5559

ANALISIS DE CORTO CIRCUITO

BUS: 1 (13.800 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	INT	Fm	Icc (KA)	Pcc (MVA)
.0007	.0131	19.8255	.0131	SIM	1.046	16.645	397.844
.0007	.0131	19.8255	.0131	TOT	1.130	17.982	429.814

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	INT	Fm	Icc (KA)	Pcc (MVA)
SUMI 0	.0007	.0143	.0143	SIM	1.046	15.317	366.103
SUMI 0	.0007	.0143	.0143	TOT	1.130	16.547	395.522
CABL 2	.0056	.0597	.0600	SIM	1.046	1.328	31.742
CABL 2	.0056	.0597	.0600	TOT	1.130	1.435	34.293

BUS: 2 (4.160 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	INT	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0028	.0434	15.2266	.0435	SIM	.995	15.870	114.351
.0028	.0434	15.2266	.0435	TOT	1.071	17.085	123.104

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	INT	Fm	Icc(KA)	Pcc(MVA)
GENE 0	.0166	.4328	.4331	SIM	.995	1.594	11.482
GENE 0	.0166	.4328	.4331	TOT	1.071	1.715	12.361
GENE 0	.0166	.4328	.4331	SIM	.995	1.594	11.482
GENE 0	.0166	.4328	.4331	TOT	1.071	1.715	12.361
GENE 0	.0166	.4328	.4331	SIM	.995	1.594	11.482
GENE 0	.0166	.4328	.4331	TOT	1.071	1.715	12.361
MTIN 0	.0305	1.0285	1.0290	SIM	.995	.671	4.833
MTIN 0	.0305	1.0285	1.0290	TOT	1.071	.722	5.202
MTIN 0	.0306	1.0287	1.0292	SIM	.995	.671	4.832
MTIN 0	.0306	1.0287	1.0292	TOT	1.071	.722	5.201
MTIN 0	.0693	2.0876	2.0888	SIM	.995	.330	2.381

MTIN	0	.0693	2.0876	2.0888	TOT	1.071	.356	2.563
MTIN	0	1.0986	12.9626	13.0090	SIM	.995	.053	.382
MTIN	0	1.0986	12.9626	13.0090	TOT	1.071	.057	.411
CABL	1	.0056	.0597	.0600	SIM	.995	9.294	66.963
CABL	1	.0056	.0597	.0600	TOT	1.071	10.005	72.088
TRAN	3	.0868	.3713	.3813	SIM	.995	.077	.552
TRAN	3	.0868	.3713	.3813	TOT	1.071	.082	.594

APLICACION DE LA NORMA ANSI/IEEE 141 DE 1993

E J E M P L O

RED: 3

POTENCIA BASE: 5.000 [MVA]

CANTIDADES EN POR UNIDAD

ELEMENTO	Rpu	Xpu
SUMI	.0007	.0143
CABL	.0005	.0020
GENE	.0252	.6769
CABL	.0005	.0020
GENE	.0252	.6769
CABL	.0005	.0020
GENE	.0252	.6769
CABL	.0030	.0055
MTIN	.0000	.0000
CABL	.0031	.0057
MTIN	.0000	.0000
CABL	.0051	.0062
MTIN	.0000	.0000
CABL	.0187	.0054
MTIN	.0000	.0000
CABL	.3345	.1306
MTIN	.0000	.0000
CABL	.3787	.1479
MTIN	.0000	.0000
CABL	.4205	.2505
MTIN	.0000	.0000
CABL	.4624	.2755
MTIN	.0000	.0000
CABL	.5047	.3007

MTIN	.0000	.0000
MTIA	6.2114	37.2685
MTIA	5.3573	32.1441
TRAN	.0045	.0548
CABL	.0011	.0049
TRAN	.0868	.3713
CABL	.0195	.0943
CABL	.2156	.5559

ANALISIS DE CORTO CIRCUITO

BUS: 1 (13.800 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0007	.0136	20.1025	.0136	15.371	367.412

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
SUMI 0	.0007	.0143	.0143	14.641	349.953
CABL 2	.0056	.0597	.0600	.730	17.460

BUS: 2 (4.160 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0041	.0558	13.6125	.0559	12.407	89.393

CONTRIBUCIONES

BUS	Rpu	Xpu	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
GENE 0	.0258	.6789	.6794	1.021	7.359
GENE 0	.0258	.6789	.6794	1.021	7.359
GENE 0	.0258	.6789	.6794	1.021	7.359
CABL 1	.0056	.0597	.0600	9.345	67.333
TRAN 3	.0868	.3713	.3813	.000	.000

BUS: 3 (.480 KV)

Rpu	Xpu	X/R	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
.0908	.4271	4.7014	.4367	13.773	11.450

CONTRIBUCIONES

	BUS	Rpu	Xpu	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
TRAN	2	.0868	.3713	.3813	13.773	11.450
CABL	4	.0195	.0943	.0963	.000	.000
CABL	5	.2156	.5559	.5962	.000	.000

BUS: 4 (.480 KV)

	Rpu	Xpu	X/R	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
	.1104	.5214	4.7247	.5330	11.284	9.382

CONTRIBUCIONES

	BUS	Rpu	Xpu	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
CABL	3	.0195	.0943	.0963	11.284	9.382

BUS: 5 (.480 KV)

	Rpu	Xpu	X/R	Zpu	Icc(KA)	Pcc(MVA)
	.3064	.9830	3.2079	1.0296	5.841	4.856

CONTRIBUCIONES

	BUS	Rpu	Xpu	Zpu	Icc (KA)	Pcc (MVA)
CABL	3	.2156	.5559	.5962	5.841	4.856

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES

El programa *NORMA* fue creado con la finalidad de proporcionar una herramienta informática a los alumnos de la Facultad de Ingeniería y en especial a los del área de Ingeniería Eléctrica, que observando la metodología de la norma ANSI/IEEE 141 -1993 facilitara el cálculo de corto circuito trifásico en un sistema eléctrico.

Originalmente se elaboró un programa mucho más simple del que en este trabajo se presenta, pero nos enfrentábamos a la situación de que el usuario necesitaba saber manejar archivos de datos, así como conocer muy bien los parámetros y el orden que cada elemento debía de tener, además de que cualquier error en el procedimiento nos obligaba a empezar de nuevo sin tener conocimiento de la causa de nuestro error y aunque este primer programa cumplía con nuestro objetivo, decidimos mejorarlo para hacerlo más amigable y de esta forma cumplir con otro objetivo, el cual consiste en brindar un programa de cálculo de corto circuito.

El programa que estamos presentando lo hemos sometido a varios tipos de pruebas para verificar su funcionalidad y su apego a la metodología que lo rige; sin embargo, es susceptible de ser mejorado en cuanto a su interacción con el usuario y a su alcance dentro de los análisis eléctricos.

En cuanto a su desempeño podemos decir que, a pesar de que el ejemplo aquí desarrollado es un caso ficticio de un sistema eléctrico, pudimos comprobar con el método de valores en por unidad y con el método de Zbus, que el programa nos da resultados correctos. Las diferencias que se llegan a presentar se deben a que los factores que se aplican en diferentes pasos del proceso son obtenidos de forma gráfica, lo que nos origina un error en los resultados; en el programa estos factores se obtienen de las ecuaciones de cada una de las curvas de las gráficas lo que nos da un resultado más exacto. Tomando lo anterior en cuenta, concluimos que los resultados arrojados por el programa nos dan un grado de exactitud mucho mayor que el obtenido al desarrollar el problema a mano.

Finalmente podemos concluir que los objetivos planteados en un inicio se han cumplido, recordando que este es sólo un paso intermedio en un estudio de coordinación de protecciones.

Presentamos esta primera versión del programa NORMA deseando que otros estudiantes continúen perfeccionándolo o generen otros programas de esta área para enriquecer la biblioteca que al respecto existe en nuestra Facultad.

BIBLIOGRAFÍA.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- *IEEE Standard 141-1993 (Red Book)*
Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.

- 2.- *Selección, Ajuste y Coordinación de Protecciones Eléctricas*
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
División de Estudios de Ingeniería.
Departamento de Ingeniería Eléctrica.
Ing. Enrique Díaz de la Serna P.
Ing. J. Rubén Ramírez G.

- 3.- *Elements of Power System Analysis*
William D. Stevenson, Jr.
Editorial Mc Graw Hill
Fourth Edition.

- 4.- *Análisis de Corto Circuito en Sistemas Eléctricos Industriales*
M.I. Rodolfo Lorenzo Bautista.
1992

- 5.- *Fortran 77, un estilo estructurado y disciplinado*
Davis & Hassman.
Editorial Mc Graw Hill

- 6.- *Sistemas Eléctricos de Potencia*
Syed A. Nasar
Editorial Mc Graw Hill

- 7.- *Redes Eléctricas 2*
Jacinto Viqueira Landa.
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.
1986

- 8.- *Apuntes de Algebra Lineal*
Eduardo Solar González, Leda Speziale de Guzmán.
U.N.A.M.
Facultad de Ingeniería.
División de Ciencias Básicas.
Departamento de Matemáticas Básicas.