

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



“ APLICACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS Y SU COORDINACION  
EN LA PLANTA INDUSTRIAL DE FERTIMEX AREA DE DAP-NPK ”

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:  
ALVAREZ SANCHEZ JAVIER  
BECERRIL MUCIÑO DAVID  
DIAZ MIJES DAVID  
PADILLA RODRIGUEZ PEDRO



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.

## INDICE GENERAL

- I.- INTRODUCCION
  - 1.1 Protección de la instalación industrial
  - 1.2 Elementos que intervienen en el estudio de coordinación de protecciones
  - 1.3 Aplicación de dispositivos de protección
  
- II.- CALCULO DE CORTO CIRCUITO Y SU APLICACION EN EL SISTEMA
  - 2.1 Cálculo de corto circuito
  - 2.2 Aplicación en el sistema
  
- III.- SELECCION DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS DE PROTECCION CODIGOS Y NORMAS APLICABLES
  - 3.1 Fusibles
  - 3.2 Relevadores
  - 3.3 Interruptores
  - 3.4 Estudio de curvas de operación tiempo - corriente
  - 3.5 Códigos y normas aplicables
  
- IV.- RECOMENDACIONES PARA LA COORDINACION DE LAS PROTECCIONES
  - 4.1 Zonas de protección y estudio a la instalación eléctrica de la planta
  - 4.2 Coordinación de las protecciones del sistema
  - 4.3 Aplicación en el sistema
  - 4.4 Consideraciones económicas
  
- V.- CONCLUSIONES
  
- VI.- BIBLIOGRAFIA
  
- VII.- DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL Y GRAFICAS DE COORDINACION DE PROTECCIONES

## INTRODUCCION

### 1.1 Protección de la instalación industrial

En toda planta industrial es necesaria la protección de los equipos eléctricos y conductores que alimentan a éstos desde la acometida de la compañía suministradora de energía eléctrica hasta la última carga instalada contra sobrecorrientes producidas por sobrecargas y fallas de corto circuito.

Estas sobrecorrientes pueden ocasionar daños considerables en la instalación eléctrica de la planta, en el personal y ocasionar pérdidas en la producción si no se les detecta e interrumpe a tiempo. Debido a estas causas los dispositivos de protección de sobrecorrientes se deben seleccionar adecuadamente para cada uno de los equipos alimentadores dependiendo éstos de los valores nominales de voltaje, corriente, frecuencia de operación y de los valores de corto circuito. Además de aplicar las normas correspondientes para el correcto diseño eléctrico de la planta.

Los dispositivos de protección pueden ser: fusibles, interruptores electromagnéticos, termomagnéticos y relevadores.

### 1.2 Elementos que intervienen en el estudio de coordinación de protecciones

El estudio de coordinación en un sistema eléctrico de potencia consiste de un estudio organizado de las características tiempo-corriente de todos los dispositivos conectados en serie desde la fuente de alimentación hasta la última carga instalada.

Este estudio es una comparación de los tiempos que toman los diferentes dispositivos individualmente para operar cuando ciertos niveles de corriente normal o anormal pasan a través de ellos.

El estudio de coordinación proporciona datos útiles para la selección de la relación de transformación de los transformadores de corriente, las características y ajustes de los relevadores de protección, rangos de fusibles; características, rangos y ajustes de los interruptores para asig-

nar la no interrupción de la carga que no ha sufrido daño y aisle la sobrecarga o falla en la parte del sistema afectado. Además nos da información importante para tener una protección óptima y selectiva con una coordinación apropiada de las protecciones.

Hay que tener en cuenta que un sistema nuevo o ampliación de un sistema existente se debe incluir un estudio de corto circuito para tener un conocimiento adecuado de las corrientes de falla que se presentan y poder hacer una selección adecuada de los dispositivos de protección de sobrecorriente.

En este estudio de coordinación se debe disponer de las curvas de operación tiempo-corriente de los diferentes dispositivos de protección; así como otra información pertinente que se vaya a utilizar en conjunto con dichas curvas tales como: las corrientes nominales y de arranque de motores grandes, la corriente nominal de la carga total instalada. Por consiguiente los elementos que intervienen en el estudio de coordinación de protecciones son los siguientes:

- a) Las curvas tiempo-corrientes de los diferentes dispositivos de protección (fusibles, interruptores y relevadores).
- b) El estudio de corto circuito del sistema industrial.
- c) Las características de los transformadores.
  - c.1 Punto ANSI
  - c.2 Corriente Nominal
  - c.3 Corriente de magnetización
- d) La corriente nominal de la carga total instalada

### 1.3 Aplicación de los dispositivos de protección

Los dispositivos de protección en primer lugar deben tener la capacidad adecuada para interrumpir el circuito con seguridad bajo cualquier condición anormal de modo que dé protección al personal, al sistema eléctrico y a los equipos de utilización.

La selección más acertada de entre ellos puede depender de varios factores además del costo inicial, de manera que se satisfagan las condiciones técnicas-económicas requeridas.

En la planta industrial de fertilizantes el sistema eléctrico se extiende por medio de derivaciones del alimentador primario y se hace la protección en el lado primario de cada transformador por medio de fusibles.

Los fusibles se conectan o instalan entre el transformador y la alimentación que viene del tablero general de distribución de 15 KV.

Como se requiere tener una gran economía y continuidad en el sistema es conveniente aislar los circuitos unos de otros a base de relevadores de sobrecorriente que sean selectivos dentro de cada zona de protección, en los ramales del sistema, de modo que cuando haya una falla en una de ellas el servicio pueda mantenerse en los demás alimentadores que estén libres de falla; teniendo de esta manera, una coordinación adecuada entre los diferentes dispositivos de protección. Por lo cual en cada ramal del sistema eléctrico de la planta se determinó utilizar los siguientes dispositivos de protección, en base al estudio que se realiza en los capítulos siguientes. (Ver diagrama unifilar general).

#### RAMAL (1)

- 1.- Un desconectador de fusibles de 15 KV., para proteger el transformador de 3,750 KVA., y los alimentadores de calibre 4/0 AWG y 500 MCM.
- 2.- Un interruptor de alta capacidad interruptiva a 4160 volts, operado por medio de relevadores de sobrecorriente para proteger el Bus (1).
- 3.- Fusibles de potencia Tipo EJ-2 aplicados en el arrancador con protección magnética equipado además con relevadores térmicos de sobrecarga y fusibles a tierra para proteger el motor de 800 HP, y el alimentador de calibre 3/0 AWG.
- 4.- Idem al (3) para proteger el motor de 700 HP., y el alimentador de calibre 3/0 AWG.
- 5.- Idem al (3) para proteger el motor de 600 HP., y el alimentador de calibre 3/0 AWG.
- 6.- Idem al (5)
- 7.- Idem al (3) para proteger el motor de 400 HP., y el alimentador de calibre 3/0 AWG.
- 8.- Idem al (3) para proteger el motor de 300 HP., y el alimentador de calibre 3/0 AWG.

RAMAL (2)

- 1.- Un desconectador de fusibles de 15 KV., para proteger el transformador de 1500 KVA., y los alimentadores de calibre 4/0 AWG, y electroducto de - 2000 amperes de capacidad.
- 2.- Un interruptor electromagnético Tipo DS en 600 volts, para proteger el Bus (2).
- 3.- Un interruptor electromagnético Tipo DS en 600 volts, para proteger el alimentador de calibre 350 MCM.
- 4.- Idem al (3).
- 5.- Idem al (3).
- 6.- Para el estudio de coordinación se considera un motor de 100 HP., se utiliza un interruptor termomagnético para la protección de dicho motor.

RAMAL (3)

- 1.- Un desconectador de fusibles de 15 KV, para proteger el transformador de 1500 KVA., y los alimentadores de calibre 4/0 AWG., y 400 MCM.
- 2.- Un interruptor electromagnético Tipo DS en 600 volts, para proteger - el Bus (3).
- 3.- Un interruptor electromagnético Tipo DS en 600 volts, para proteger - el alimentador de calibre 400 MCM.
- 4.- Idem al (3).
- 5.- Para el estudio de coordinación se considera un motor de 200 HP., se utiliza un terruptor termomagnético para la protección de dicho motor.

## I.- CALCULO DEL CORTO CIRCUITO Y SU APLICACION EN EL SISTEMA

### 2.1- Cálculo de corto circuito

En la planta industrial de fertilizantes se deben determinar las corrientes de corto circuito en distintos puntos del sistema eléctrico para seleccionar el equipo de protección apropiado y efectuar una coordinación en forma adecuada.

Un corto circuito se entenderá como una falla que se presenta en la instalación y demanda una corriente excesiva que se denomina corriente de corto circuito.

Para iniciar el estudio de corto circuito es necesario la preparación del diagrama unifilar de la instalación en donde se representen todos los elementos que intervienen para este estudio como son: motores, transformadores, cables alimentadores y tableros según sea el caso.

En segundo lugar se debe preparar el diagrama de impedancias o reactividades que pueden tener influencia en el cálculo.

En la selección de las reactividades y las resistencias de las máquinas, circuitos y equipos se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

La influencia de la reactividad en determinados elementos del circuito del sistema depende de la tensión en la red donde se produce el corto circuito. En todos los casos deben usarse las reactividades de los motores y transformadores.

En sistemas en donde el voltaje no sea mayor de 600 volts son tan bajas las reactividades de los tramos cortos de barra de los transformadores de corriente, de los conmutadores de los interruptores y de los otros elementos del circuito de pocos metros de longitud, que pueden despreciarse sin cometer un error apreciable.

En los circuitos de más de 600 volts las reactividades de los transformadores de corriente, de los interruptores de aire, los tramos de barra, etc.

si pueden tener una influencia de importancia en la magnitud de la corriente de corto circuito por lo cual deben incluirse.

Es muy importante recordar que cuanto menor sea la tensión, más elevada será la pequeña impedancia para limitar la magnitud de la corriente de corto circuito.

La resistencia de los transformadores, reactores, motores y barras de gran capacidad (arriba de 1000 amperes) es tan baja comparada con su reactancia que no se considera cualquiera que sea la tensión del circuito.

La resistencia de todos los otros elementos del circuito de alta tensión (mayor de 600 volts) generalmente se desprecia debido a que no tiene influencia sobre la magnitud total de las corrientes de corto circuito.

En los sistemas con tensiones de 600 volts o menos, la resistencia de los circuitos de cable constituye la parte predominante de la impedancia total del cable y más cuando se consideran en el circuito tramos de cables de longitudes considerables. Por lo tanto, deben incluirse en el diagrama de impedancias.

En la mayor parte de los sistemas industriales se obtiene la máxima corriente de corto circuito cuando se produce una falla trifásica; por consiguiente, para la selección de los dispositivos de protección basta calcular un corto circuito trifásico.

Para el cálculo del corto circuito en las instalaciones eléctricas existen diferentes métodos entre ellos se encuentran los siguientes:

- Método de las componentes simétricas
- Método ohmico
- Método en por unidad
- Método en tanto por ciento

El método que se utilizó para el estudio de corto circuito fue el de tanto por ciento, para la aplicación de este método se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Para expresar en (%) la impedancia Z que se tiene originalmente en OHMS y refiriéndola a los valores base de voltaje y potencia se obtiene que:

$$Z\% = \frac{Z \text{ ohm} \times \text{KVA base}}{(\text{KV base})^2 \times 10}$$

Además es necesario referir a una base común de potencia los valores de impedancia o reactancia de los conductores, motores y transformadores - que están en (%) referidas a sus valores nominales en KVA y Volts, se tiene:

$$Z\% = \frac{Z\% \text{ nom.} \times \text{KVA base}}{\text{KVA nom.}}$$

Para convertir los datos que nos proporciona la compañía suministradora en : impedancia en (%), se tiene lo siguiente:

Si dan la potencia de cortocircuito en KVA.

$$Z\% \text{ línea} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{\text{KVA c.c.}}$$

Para calcular la corriente de corto circuito en cualquier parte del sistema se tiene:

$$I \text{ c.c.} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{\sqrt{3} \times \text{KV base} \times Z\%}$$

Para conocer el efecto de asimetría por el voltaje se multiplica a la corriente de corto circuito simétrica (I<sub>cc sim.</sub>) por el factor [F] correspondiente que depende del valor de la relación R/X; en nuestro caso se tiene que: en 4160 volts, F = 1.6 y en 480 volts, F = 1.25

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$P \text{ c.c. sim.} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{Z\%}$$

$$P \text{ c.c. asim.} = F \times P \text{ c.c. sim.}$$

Aplicación en el sistema

Para encontrar el valor correspondiente de la impedancia de los conductores se utilizaron los valores de la resistencia y reactancia dados por el fabricante, teniéndose la siguiente tabla:

Calibre	Tipo	Resistencia ohms/1000ft 60HZ., 25°C.	Reactancia ohms/1000ft 60HZ., 25°C.	Impedancia ohms/1000ft 60HZ., 25°C.	Impedancia ohms/1 mt. 60HZ., 25°C.
3/0	EP	Se desprecia	0.0605	0.06050	0.0001984
4/0	EP	Se desprecia	0.0583	0.05830	0.0001912
350	THW	0.0310772	0.0499	0.05798	0.0001902
400	THW	0.0272970	0.0490	0.05609	0.0001840
500	EP	Se desprecia	0.0526	0.05260	0.0001725

Para el cálculo de la impedancia del electroducto del catálogo compendiado - . 17 SQUARE'D página 31 se obtiene el valor de la resistencia y la reactancia de la línea a neutro.

Capacidad electroduto en Amp.	Resistencia ohms/100 ft 60HZ., 25°C.	Reactancia ohms/100ft 60HZ., 25°C.	Impedancia ohms/100ft 60HZ., 25°C.	Impedancia ohms/1 mt. 60HZ., 25°C.
2000	0.00055	0.00033	0.0006414	0.00002104

A continuación se calculan los valores de las impedancias de los conductores en los ramales (1), (2) y (3) con los datos de cada conductor y la tabla elaborada anteriormente.

RAMAL (1)

Impedancia	Voltaje KV	Calibre AWG o MCM	Long. Mt	No. Cond. por fase	Impedancia ohms/1 mt. 60HZ., 25°C	Impedancia total en ohms 60HZ 25°C
Z11	13.8	4/0	20	1	0.0001912	0.003824
Z12	4.16	500	20	2	0.0001725	0.001725
Z13	4.16	3/0	100	1	0.0001984	0.019840
Z14	4.16	3/0	125	1	0.0001984	0.024800
Z15	4.16	3/0	115	1	0.0001984	0.022816
Z16	4.16	3/0	125	1	0.0001984	0.024800
Z17	4.16	3/0	125	1	0.0001984	0.024800
Z18	4.16	3/0	110	1	0.0001984	0.021824

RAMAL (2)

Z21	13.8	4/0	30	1	0.0001912	0.005760
Z22	0.48	Elecduc.	14	1	0.0000210	0.000295
Z24	0.48	350	30	3	0.0001902	0.001902
Z25	0.48	350	30	3	0.0001902	0.001902
Z26	0.48	350	30	3	0.0001902	0.001902

RAMAL (3)

Z31	13.8	4/0	35	1	0.0001912	0.006692
Z32	0.48	Elecduc.	16	1	0.0000210	0.000337
Z34	0.48	400	30	4	0.0001840	0.001380
Z35	0.48	400	30	4	0.0001840	0.001380

Cálculo de las impedancias en (%) de los conductores.

En el Ramal (1) se tiene:

$$Z\% = \frac{Z \text{ ohms} \times \text{KVA base}}{(\text{KV base})^2 \times 10}$$

$$\text{KVA base} = 1000$$

$$\text{KV base} = 13.8 \text{ y } 4.16$$

$$Z_{11} = \frac{0.003824 \times 1000}{(13.8)^2 \times 10} = 0.002008 \%$$

$$Z12 = \frac{0.011725 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.0006978 \%$$

$$Z13 = \frac{0.01384 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.0008449 \%$$

$$Z14 = \frac{0.0248 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.001433062 \%$$

$$Z15 = \frac{0.022816 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.001318417 \%$$

$$Z16 = \frac{0.0248 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.001433062 \%$$

$$Z17 = \frac{0.0248 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.001433062 \%$$

$$Z18 = \frac{0.021824 \times 1000}{(4.16)^2 \times 10} = 0.001261094 \%$$

En el Ramal (2) se tiene:

KVA Base = 1000

KV Base = 13.8 y 0.48

$$Z21 = \frac{0.005760 \times 1000}{(13.8)^2 \times 10} = 0.00030245 \%$$

$$Z22 = \frac{0.0002946 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.001278645 \%$$

$$Z24 = \frac{0.001902 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.0008255208 \%$$

$$Z25 = \frac{0.001902 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.0008255208 \%$$

$$Z25 = \frac{0.001392 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.3255208 \%$$

En el Ramal (3) se tiene:

KVA base = 1000  
KV base = 13.8 y 0.48

$$Z31 = \frac{0.006692 \times 1000}{(13.8)^2 \times 10} = 0.0035139 \%$$

$$Z32 = \frac{0.0003366 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.1460937 \%$$

$$Z34 = \frac{0.00138 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.5989583 \%$$

$$Z35 = \frac{0.00138 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 0.5989583 \%$$

En el estudio de corto circuito del sistema se tiene que considerar la impedancia subtransitoria de los motores debido a que esta es la que se presenta en el instante de la falla.

Como los motores del Ramal (1) trabajan a un voltaje de 4.16 KV se puede considerar para el cálculo una reactancia subtransitoria entre el 15 y 17 (%); en nuestro caso utilizamos el 17% para cada uno de los motores, teniendo lo siguiente:

Motor No.	Potencia HP	Potencia KVA nom	Voltaje KV	Reactancia X'' % nom
1	800	752.9	4.16	17
2	700	658.8	4.16	17
3	400	376.5	4.16	17
4	600	564.7	4.16	17
5	600	564.7	4.16	17
6	300	282.3	4.16	17

Cálculo de la impedancia de los motores en (%), Se referirán las reactivas subtransitorias de los motores a una base común de potencia.

$$\text{KVA base} = 1000$$

$$X''\% = \frac{X''\% \text{ nom.} \times \text{KVA base}}{\text{KVA nom.}}$$

$$X''1 = \frac{17 \times 1000}{752.9} = 22.579359 \%$$

$$X''2 = \frac{17 \times 1000}{658.8} = 25.804493 \%$$

$$X''3 = \frac{17 \times 1000}{376.5} = 45.152722 \%$$

$$X''4 = \frac{17 \times 1000}{564.7} = 30.10448 \%$$

$$X''5 = \frac{17 \times 1000}{564.7} = 30.10448 \%$$

$$X''6 = \frac{17 \times 1000}{282.3} = 60.219624 \%$$

Considerando al grupo de motores como uno solo con potencia de 3200 KVA (es el resultado de la suma de las potencias de cada uno de los motores) se tiene:

$$X''em = \frac{17 \times 1000}{3200} = 5.3125 \%$$

que es la reactiva subtransitoria equivalente de los motores.

Cálculo de la impedancia equivalente de los conductores que alimentan a los motores del Ramal (1).

$$Z_{\%ea} = \frac{1}{\frac{1}{Z\%13} + \frac{1}{Z\%14} + \frac{1}{Z\%15} + \frac{1}{Z\%16} + \frac{1}{Z\%17} + \frac{1}{Z\%18}}$$

$$Z_{ea} = \frac{1}{45.171257} = 0.0221379 \%$$

En el Ramal (2) se tienen tres Centros de Control de Motores (C.C.M.) que controlan las siguientes cargas.

En este caso se considera una impedancia del 25% para cada C.C.M. debido a que al ocurrir una falla no se sabe con exactitud la cantidad de motores que estaban operando en ese instante y por la variedad de capacidades de la carga de motores de uso general. Por consiguiente se tiene:

<u>C.C.M.</u> <u>No.</u>	<u>Carga</u> <u>KVA nom</u>	<u>Voltaje</u> <u>KV</u>	<u>Impedancia</u> <u>Z% nom.</u>
1	448.38	0.48	25
2	455.03	0.48	25
3	461.71	0.48	25

Se prosigue a un cambio de base de potencia en las impedancias consideradas donde:

$$Z\% = \frac{Z\% \text{ nom.} \times \text{KVA base}}{\text{KVA nom.}} \quad \text{KVA base} = 1000$$

$$Z_{B2A} = \frac{25 \times 1000}{448.38} = 55.756 \%$$

$$Z_{B2B} = \frac{25 \times 1000}{455.03} = 54.941 \%$$

$$Z_{B2C} = \frac{25 \times 1000}{461.71} = 54.146 \%$$

Además, para reducir la corriente de corto circuito en el Bus (2) se considera un Reactor limitador de corriente de impedancia  $Z=0.005$  ohms. Se calcula ahora el valor de la impedancia del Reactor en (%) en donde:

$$Z\% = \frac{Z \text{ ohms} \times \text{KVA base}}{(\text{KV base})^2 \times 10} \quad \begin{array}{l} \text{KVA base} = 1000 \\ \text{KV base} = 0.48 \end{array}$$

$$Z_{R2} = \frac{0.005 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 2.1701388 \%$$

En el Panel (1) se tiene dos Centros de Control de Motores (C.C.M.) que controlan las siguientes cargas para fines del estudio de corto circuito se estima una impedancia del 25% para cada C.C.M. teniéndose lo siguiente:

<u>C.C.M. No.</u>	<u>Carga KVA nom.</u>	<u>Voltaje KV</u>	<u>Impedancia Z% nom.</u>
4	693.48	0.48	25
5	716.69	0.48	25

Con los datos anteriores se prosigue a un cambio de base de potencia en las impedancias consideradas donde:

$$Z\% = \frac{Z\% \text{ nom.} \times \text{KVA Base}}{\text{KVA nom.}} \quad \text{KVA base} = 1000$$

$$Z_{B3A} = \frac{25 \times 1000}{693.48} = 36.05 \%$$

$$Z_{B3B} = \frac{25 \times 1000}{716.69} = 34.88 \%$$

Además para reducir la corriente de corto circuito en el Bus (3) se considera un Reactor limitador de corriente de impedancia  $Z=0.005$  ohms. Se calcula el valor de la impedancia del Reactor en (%) de donde:

$$Z\% = \frac{Z \text{ ohms} \times \text{KVA base}}{(\text{KV base})^2 \times 10} \quad \begin{array}{l} \text{KVA base} = 1000 \\ \text{KV base} = 0.48 \end{array}$$

$$Z_{33} = \frac{0.005 \times 1000}{(0.48)^2 \times 10} = 2.1701388 \%$$

Como es necesario conocer el valor de la impedancia de los transformadores en (3) en función de la nueva base de potencia, se tiene lo siguiente:

<u>Transformador No.</u>	<u>Potencia KVA nom.</u>	<u>Impedancia Z% nom.</u>
T1	3750	6.5
T2	1500	6.75
T3	1500	6.75

De donde:

$$Z\% = \frac{Z\% \text{ nom.} \times \text{KVA base}}{\text{KVA nom.}} \quad \text{KVA base} = 1000$$

$$ZT1 = \frac{6.5 \times 1000}{3750} = 1.73 \%$$

$$ZT2 = \frac{6.75 \times 1000}{1500} = 4.5 \%$$

$$ZT3 = \frac{6.75 \times 1000}{1500} = 4.5 \%$$

Se calcula la impedancia de la línea en (%) y a la base de potencia común con los siguientes datos:

$$Z\% = \frac{\text{KVA base} \times 100}{\text{KVA c.c.}}$$

$$\text{KVA base} = 1000$$

$$\text{KVA c.c.} = 300\ 000$$

$$ZL\% = \frac{1000 \times 100}{300\ 000} = 0.333\%$$

Sustituyendo cada elemento del sistema en el diagrama unifilar general por su impedancia o reactancia en (%) se elabora el diagrama de impedancias de la fig. 2.1 reduciendo las impedancias que están en serie en los Ramales - (1), (2) y (3) se obtienen las siguientes impedancias equivalentes que son:

RAMAL (1)

$$ZC1 = Z11 + ZT1 + Z12 = 1.7419757 \%$$

$$ZC2 = Zea + Zem$$

Donde Zea y Zem se calcularon anteriormente

$$ZC2 = 0.32214 + 5.3125 = 5.33464 \%$$

RAMAL (2)

$$ZD1 = Z21 + ZT2 + Z22 + Z23 = 6.800889 \%$$

RAMAL (3)

$$ZE1 = Z31 + ZT3 + Z32 + Z33 = 6.81961 \%$$

Ahora se sustituyen los valores obtenidos en cada Ramal teniendo el siguiente diagrama de impedancias de la fig. 2.2

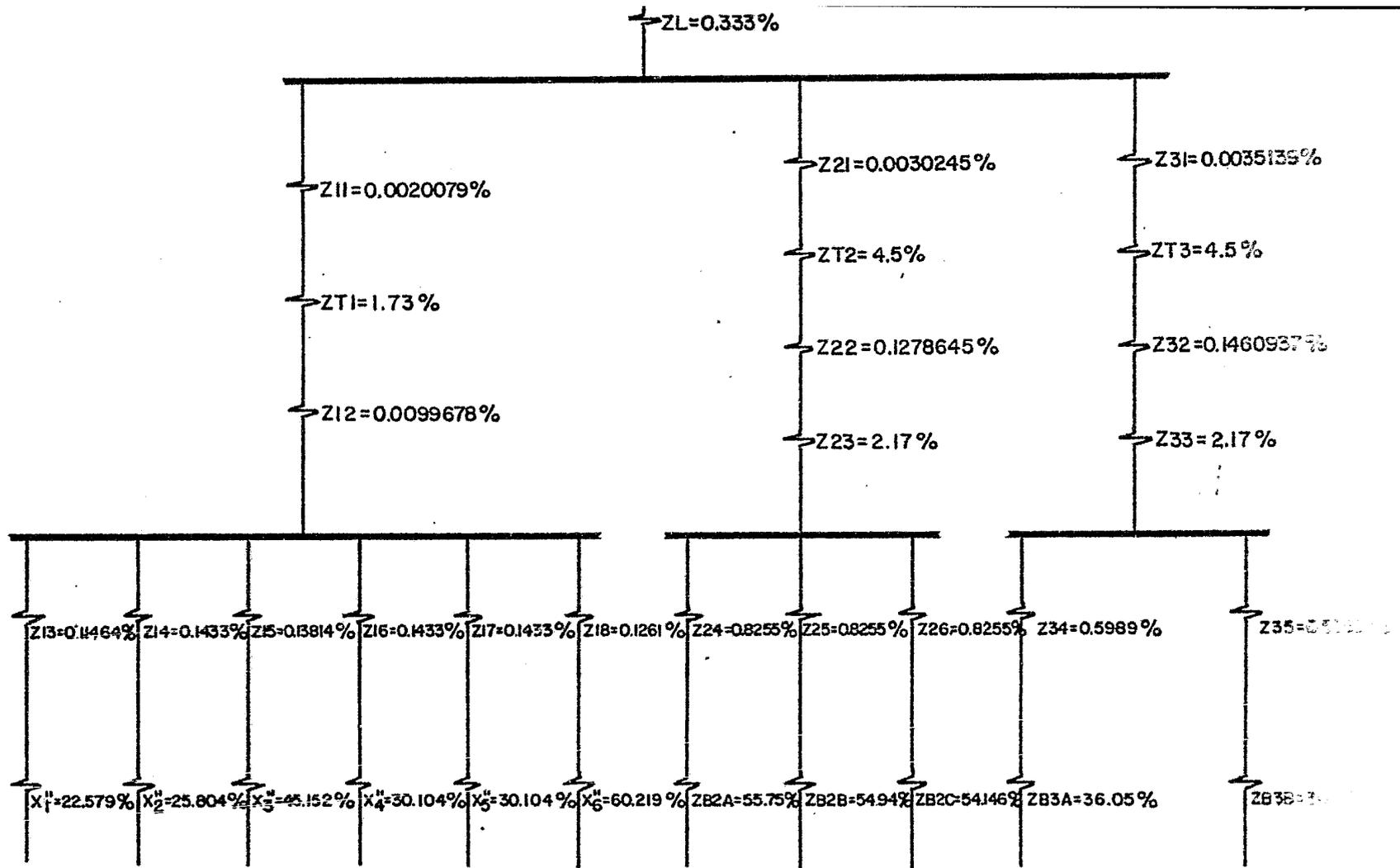


FIG. 2.1 DIAGRAMA UNIFILAR DE IMPEDANCIAS

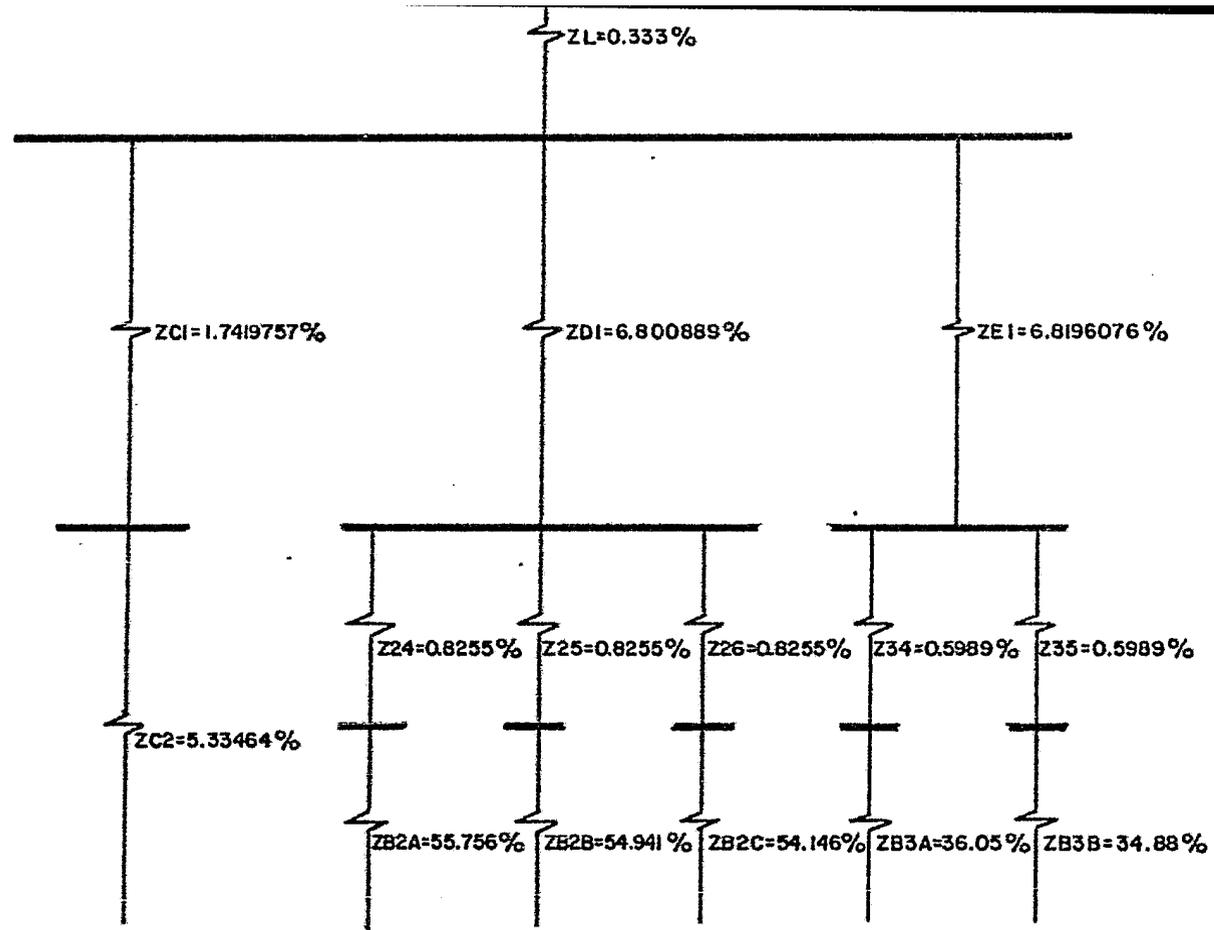


Fig. 2.2 DIAGRAMA UNIFILAR DE IMPEDANCIAS

Este diagrama de impedancias es el que se utiliza para efectuar el estudio de corto circuito del sistema eléctrico de la planta.

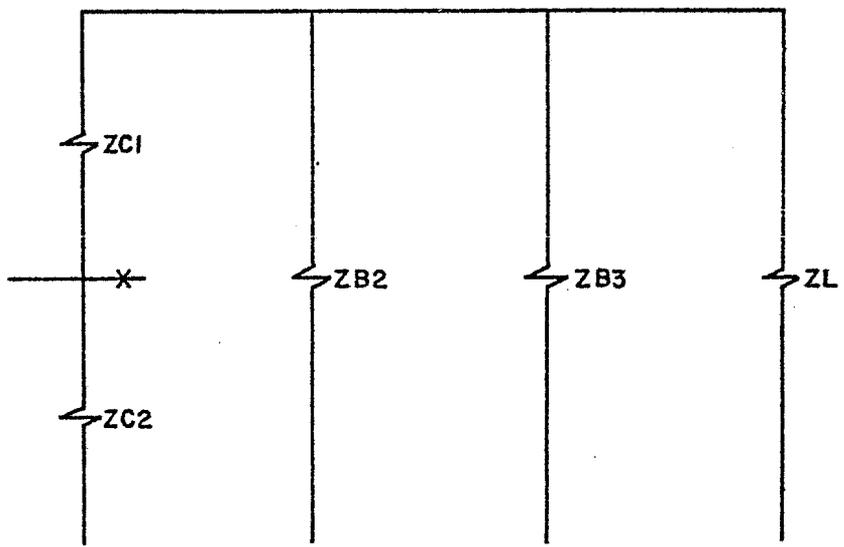
A continuación se prosigue con el estudio de una falla trifásica por ser la que proporciona mayor corriente de corto circuito y es el valor que se necesita para seleccionar adecuadamente la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección.

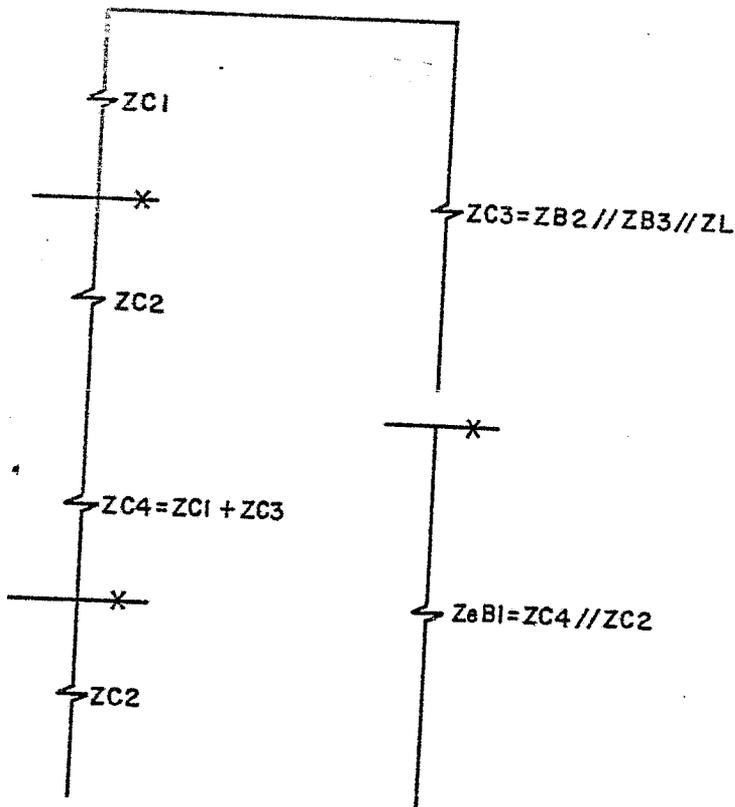
Se consideran las siguientes zonas de protección para realizar en cada una de ellas dicho estudio y son:

- Bus (1)
- Bus (2)
- Bus (2A)
- Bus (2B)
- Bus (2C)
- Bus (3)
- Bus (3A)
- Bus (3B)

Cálculo de la falla trifásica en el Bus (1)

Del diagrama de impedancias de la figura 2.2 se obtiene el siguiente diagrama equivalente en el punto de falla mencionado.





nde:

$$Z_2 = Z_{21} + (Z_{24} + Z_{B2A}) // (Z_{25} + Z_{B2B}) // (Z_{26} + Z_{B2E})$$

$$= 6.800889 + (56.5815) // (55.7665) // (54.9715)$$

$$= 6.500889 + 18.5885$$

$$Z_2 = 23.389389\%$$

$$Z_3 = Z_{31} + (Z_{34} + Z_{B3A}) // (Z_{35} + Z_{B3B})$$

$$= 6.3196076 + (36.64895) // (35.47895)$$

$$= 6.3196076 + 18.027242$$

$$Z_3 = 24.846849\%$$

$$Z_0 = 0.333\%$$

$$Z_{C3} = Z_{C2} // Z_{B3} // Z_L$$

$$= 23.389389 // 24.846849 // 0.333$$

$$Z_3 = 0.334714\%$$

$$Z_1 = 1.719\%$$

$$ZC4 = ZC1 + ZC3$$

$$= 1.7419 + 0.92714$$

$$ZC4 = 2.066614 \%$$

$$ZC2 = 5.33464\%$$

$$Z_{eB1} = ZC4 // ZC2$$

$$= 2.066614 // 5.33464$$

$$Z_{eB1} = 1.4895644\%$$

Para calcular la corriente de corto circuito en el Bus (1) se tiene:

$$I_{c.c. \text{ sim.}} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{\sqrt{3} \times \text{KV base} \times Z_{eB1}\%}$$

KVA base = 1000  
KV base = 4.16

$$I_{c.c. \text{ sim.}} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 4.16 \times 1.4895644} = 9328.3 \text{ A.}$$

$$I_{c.c. \text{ asim.}} = F \times I_{c.c. \text{ sim.}}$$

donde F = 1.6

$$= 1.6 \times 9328.3$$

$$I_{c.c. \text{ asim.}} = 14925.28 \text{ A.}$$

$$I_{c.c. \text{ sim.}} = 9328.3 \text{ A.}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$P_{c.c. \text{ sim.}} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{Z_{eB1}\%}$$

KVA base = 1000

$$P_{c.c. \text{ sim.}} = \frac{1000 \times 100}{1.4895644} = 67133.72 \text{ KVA}$$

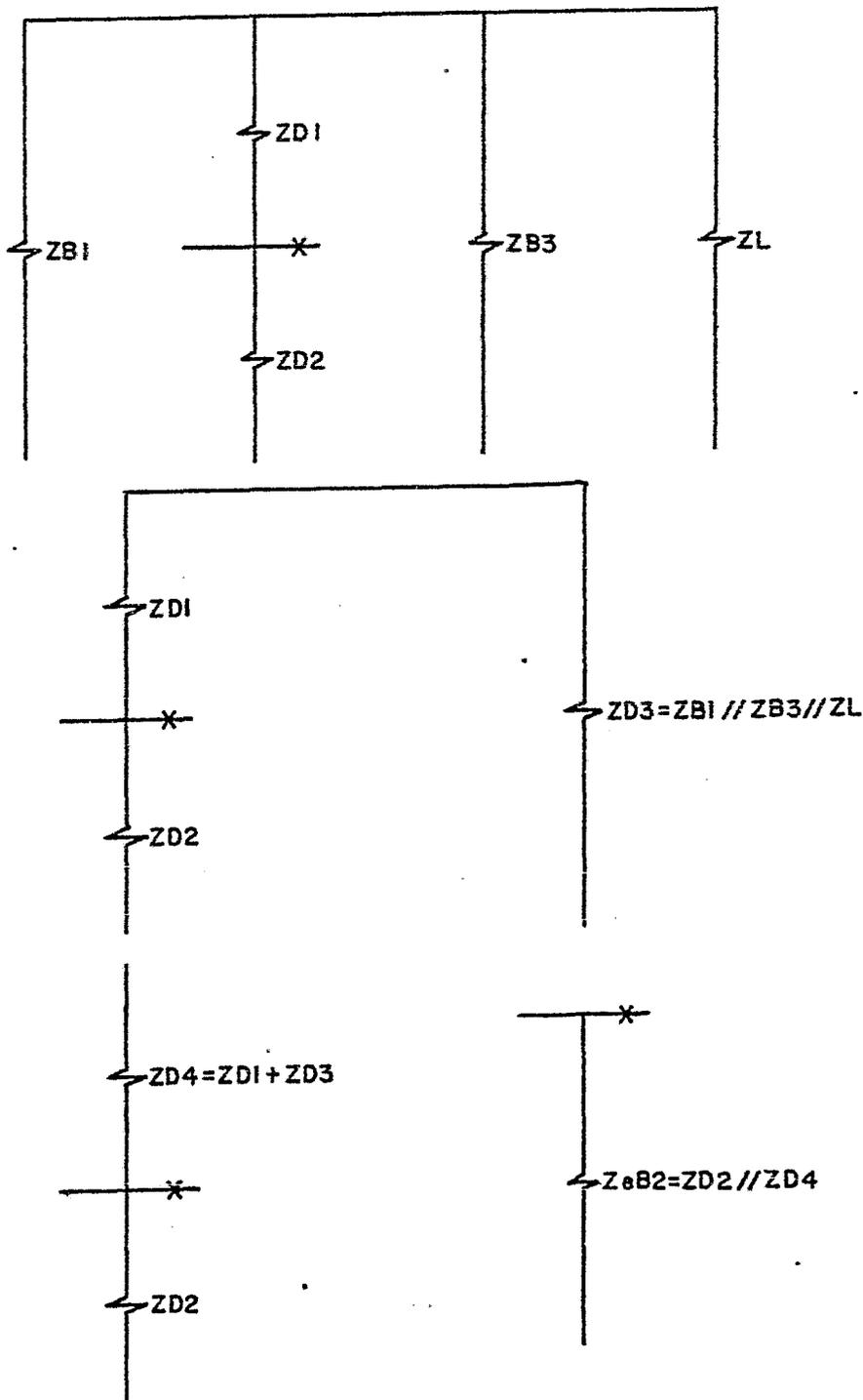
$$P_{c.c. \text{ asim.}} = F \times P_{c.c. \text{ sim.}}$$

$$= 1.6 \times 67133.72$$

$$P_{c.c. \text{ asim.}} = 107413.95 \text{ KVA}$$

$$P_{c.c. \text{ sim.}} = 67133.73 \text{ KVA}$$

Diagrama de la falla trifásica en el Bus (2) teniéndose el siguiente diagrama de impedancias.



e donde:

$$B1 = ZC1 + ZC2 \\ = 1.7419757 + 5.33464$$

$$B1 = 7.0766157\%$$

$$B3 = ZE1 + (Z34 + ZB3A) // (Z35 + ZB3B)$$

$$B3 = 24.846849\%$$

$$L = 0.333\%$$

$$ZD3 = ZB1 // ZB3 // ZL$$

$$= 7.0766157 // 24.846849 // 0.333$$

$$ZD3 = 0.3143115 \%$$

$$ZD1 = 6.800889\%$$

$$ZD4 = ZD1 + ZD3$$

$$= 6.800889 + 0.3143115$$

$$ZD4 = 7.1152\%$$

$$ZD2 = (Z24 + ZB2A) // (Z25 + ZB2B) // (Z26 + ZB2C)$$

$$ZD2 = 18.5885\%$$

$$ZeB2 = ZD2 // ZD4$$

$$= 18.5885 // 7.1152$$

$$ZeB2 = 5.1455998 \%$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el Bus (2) se tiene:

$$I_{cc.sim.} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ Base} \times ZeB2\%} \quad \begin{array}{l} KVA \text{ Base} = 1000 \\ KV \text{ Base} = 0.48 \end{array}$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 0.48 \times 5.1455998} = 23\,403.28 \text{ A}$$

$$I_{cc.asim} = F \times I_{cc.sim.} \quad \text{donde } F = 1.25 \\ = 1.25 \times 23\,403.28$$

$$I_{cc.asim.} = 29\,254.1 \text{ A.} \quad I_{cc.sim.} = 23\,403.28 \text{ A.}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$Pcc.sim. = \frac{KVA\ base \times 100}{Z_{eBF}\%} \quad KVA\ base = 1000$$

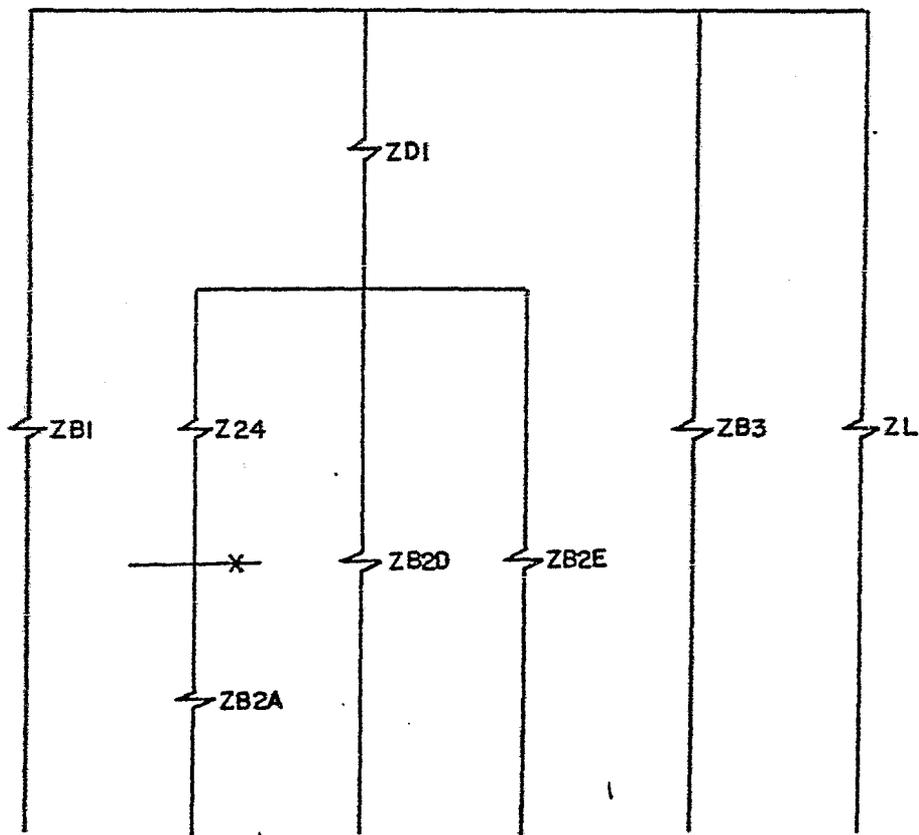
$$Pcc.sim. = \frac{1000 \times 100}{5.1455938} = 19\ 434.08\ KVA$$

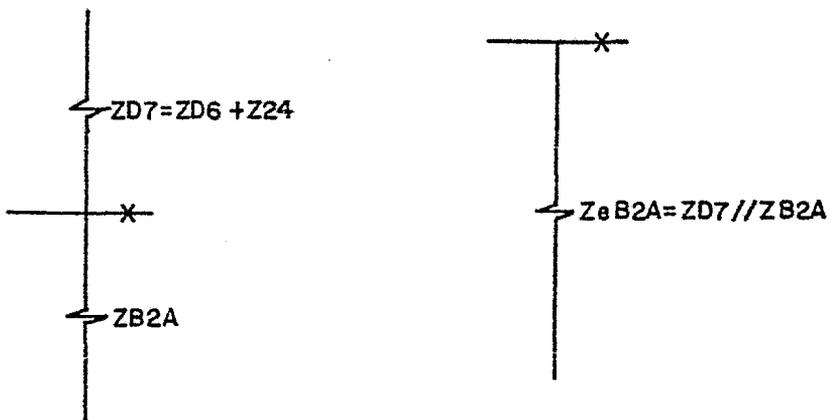
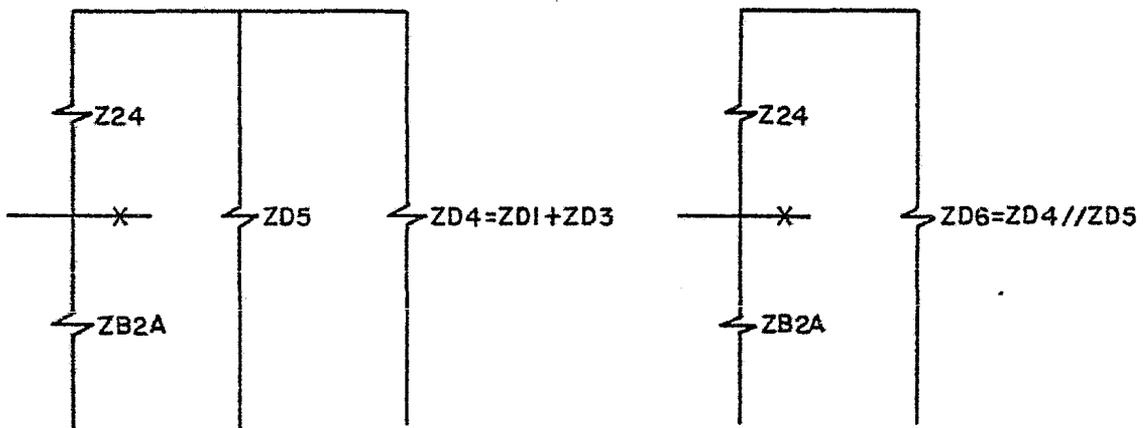
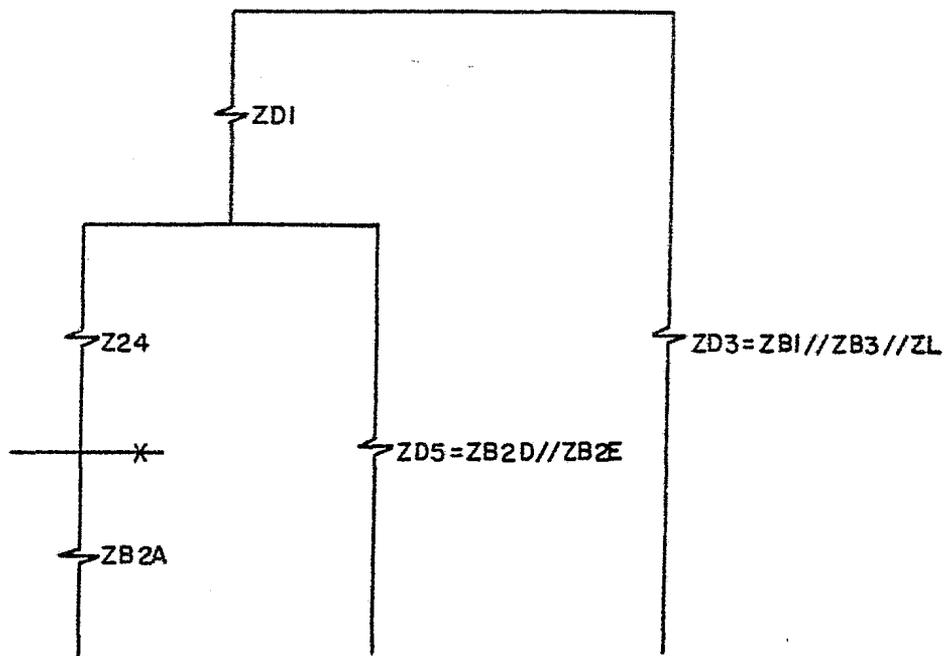
$$Pcc.asim. = F \times Pcc.sim. \quad \text{donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 19\ 434.08$$

$$Pcc.asim. = 24\ 292.6\ KVA \quad Pcc.sim. = 19\ 434.08\ KVA$$

Cálculo de la falla trifásica en el Bus (2A) teniéndose el siguiente diagrama de impedancias.





de cálculos anteriores se tiene:

$$\underline{ZB1 = 7.3766157\%}$$

$$\underline{ZB3 = 24.846949\%}$$

$$\underline{ZL = 0.333\%}$$

$$D3 = ZB1 // ZB3 // ZL$$

$$\underline{D3 = 0.3143115\%}$$

$$\underline{D1 = 6.800889\%}$$

$$D4 = ZD1 + ZD3$$

$$\underline{D4 = 7.1152005\%}$$

$$B2D = Z25 + ZB2B$$

$$= 0.8255 + 54.941$$

$$\underline{B2D = 55.7665 \%}$$

$$B2E = Z26 + ZB2C$$

$$= 0.8255 + 54.146$$

$$\underline{B2E = 54.9715\%}$$

$$D5 = ZB2D // ZB2E$$

$$= 55.7665 // 54.9715$$

$$\underline{D5 = 27.683116 \%}$$

$$D6 = ZD4 // ZD5$$

$$= 7.1152005 // 27.683116$$

$$\underline{D6 = 5.6603602\%}$$

$$D7 = ZD6 + Z24$$

$$= 5.6603602 + 0.8255$$

$$\underline{D7 = 6.4858602 \%}$$

$$B2A = ZD7 // ZB2A$$

$$= 6.4858602 // 55.756$$

$$\underline{B2A = 5.8100114 \%}$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el bus (2A) se tiene:

$$I_{cc.sim.} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ base} \times Z_{eB2A}\%} \quad \begin{array}{l} KVA \text{ base} = 1000 \\ KV \text{ base} = 0.48 \end{array}$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 0.48 \times 5.8100114} = 20\,726.964 \text{ A.}$$

$$I_{cc.asim.} = F \times I_{cc.sim.} \quad \text{donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 20\,726.964$$

$$\underline{I_{cc.asim.} = 25\,908.7 \text{ A}} \quad \underline{I_{cc.sim.} = 20\,726.964 \text{ A.}}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$P_{cc.sim.} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{Z_{eB2A}\%} \quad KVA \text{ base} = 1000$$

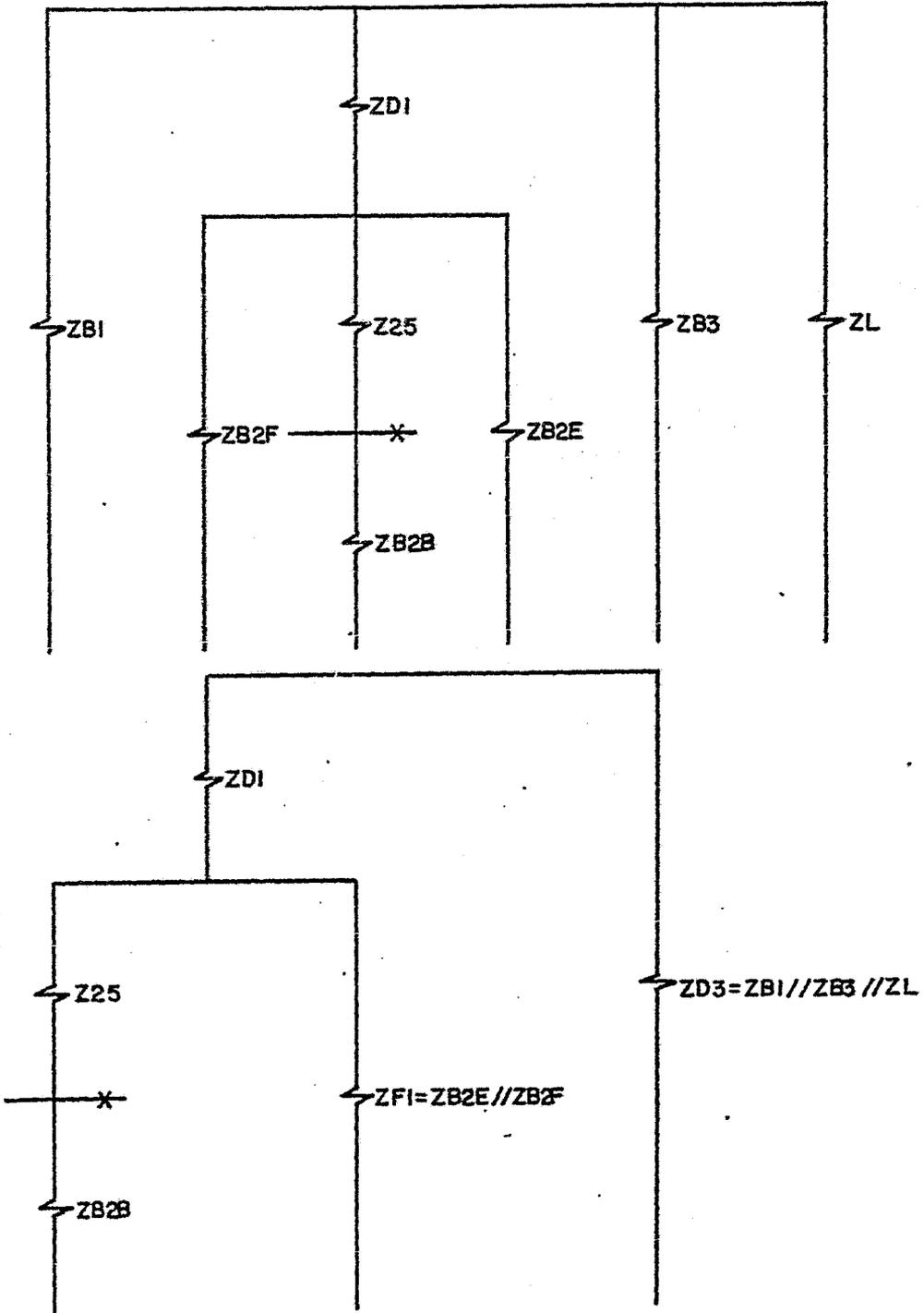
$$P_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{5.8100114} = 17\,211.67 \text{ KVA}$$

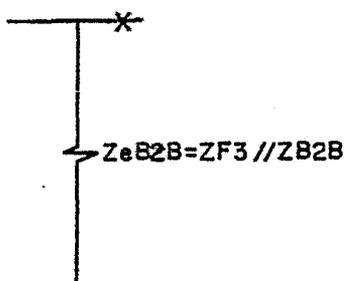
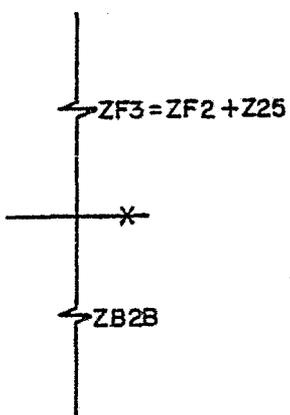
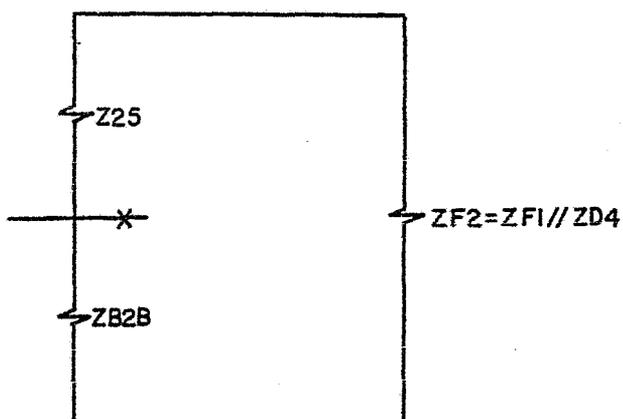
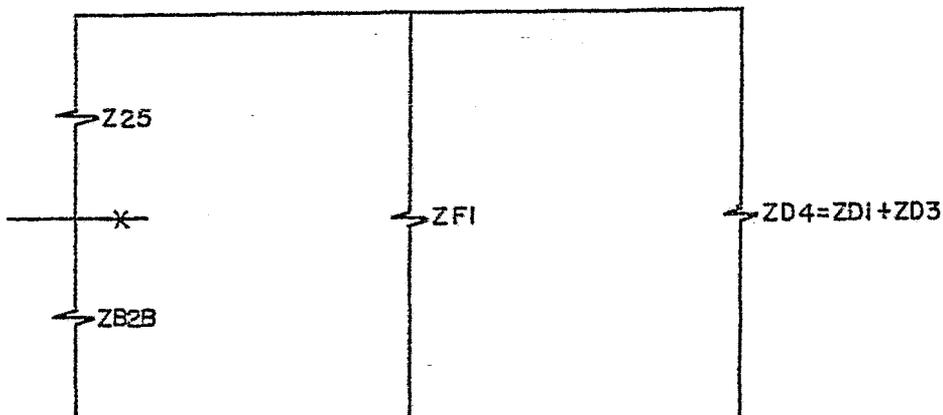
$$P_{cc.asim.} = F \times P_{cc.sim.} \quad \text{donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 17\,211.57$$

$$\underline{P_{cc.asim.} = 21\,514.59 \text{ KVA}} \quad \underline{P_{cc.sim.} = 17\,211.67 \text{ KVA}}$$

ulo de la falla trifásica en el Bus (2B) teniéndose el siguiente diagrama  
mpedancias.





De cálculos en el Bus (2A) se tiene:

$$\underline{ZD3 = 0.3143115\%}$$

$$\underline{ZD4 = 7.1152005\%}$$

$$\begin{aligned} ZB2F &= Z24 + ZB2A \\ &= 0.8255 + 55.756 \end{aligned}$$

$$\underline{ZB2F = 56.5815\%}$$

$$\underline{ZB2E = 54.9715\%}$$

$$\begin{aligned} ZF1 &= ZB2E // ZB2F \\ &= 54.9715 + 56.5815 \end{aligned}$$

$$\underline{ZF1 = 27.882492 \%}$$

$$\begin{aligned} ZF2 &= ZF1 // ZD4 \\ &= 27.882492 // 7.1152005 \end{aligned}$$

$$\underline{ZF2 = 5.6686482 \%}$$

$$\begin{aligned} ZF3 &= ZF2 + Z25 \\ &= 5.6686482 + 0.8255 \end{aligned}$$

$$\underline{ZF3 = 6.4941482 \%}$$

$$ZeB2B = ZF3 // ZB2B$$

$$= 6.4941482 // 54.941$$

$$\underline{ZeB2B = 5.807673 \%}$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el Bus (2B) se tiene:

$$I_{cc.sim.} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ base} \times ZeB2B\%}$$

$$\begin{aligned} KVA \text{ base} &= 1000 \\ KV \text{ base} &= 0.48 \end{aligned}$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 111}{1.73 \times 0.48 \times 3.507673} = 20\ 735.31\ A.$$

$$I_{cc.asim.} = F \times I_{cc.sim.} \quad \text{donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 20\ 735.31$$

$$\underline{I_{cc.asim.} = 25\ 919.14\ A.}$$

$$\underline{I_{cc.sim.} = 20\ 735.31\ A.}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$P_{cc.sim.} = \frac{KVA\ base \times 100}{Z_{eB2B} \%} = \quad KVA\ base = 1000$$

$$P_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{5.807673} = 17\ 218.6\ KVA$$

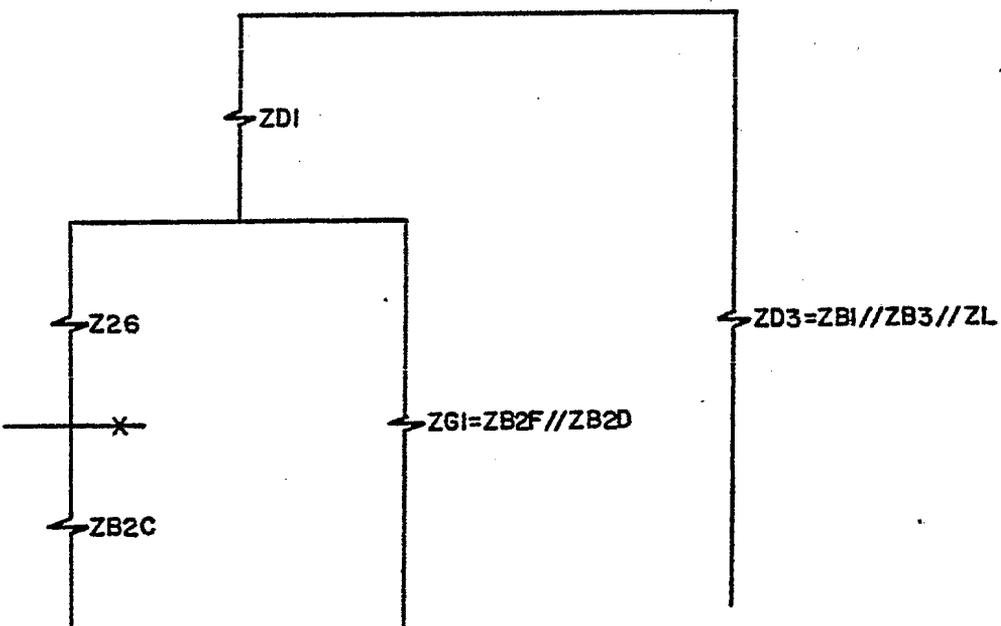
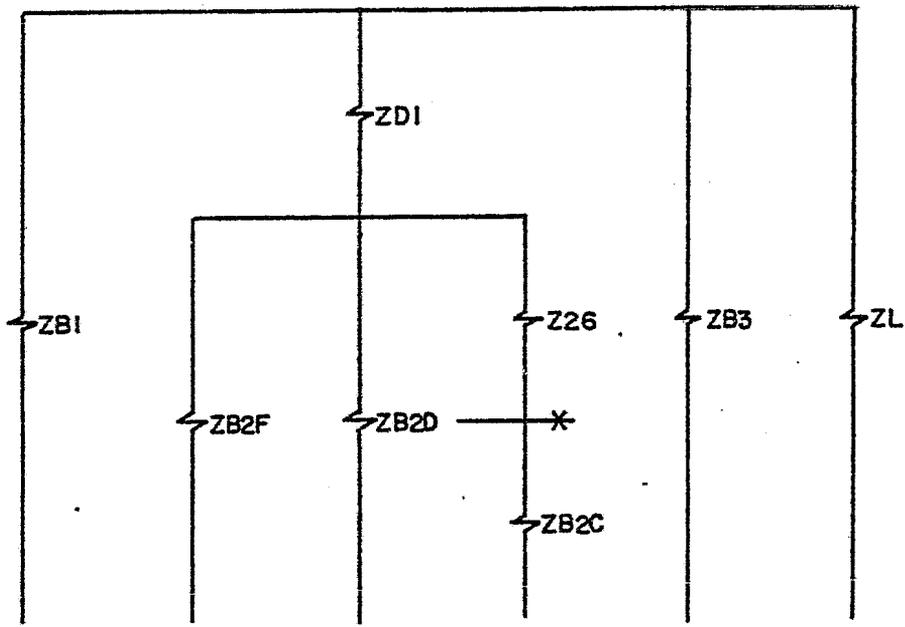
$$P_{cc.asim.} = F \times P_{cc.sim.} \quad \text{donde } F = 1.25$$

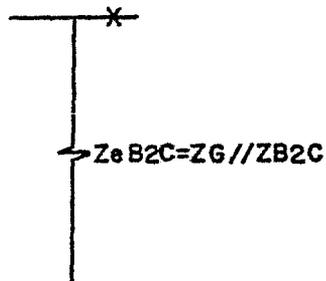
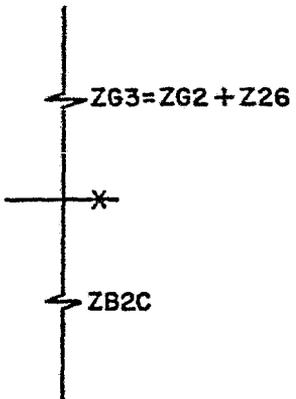
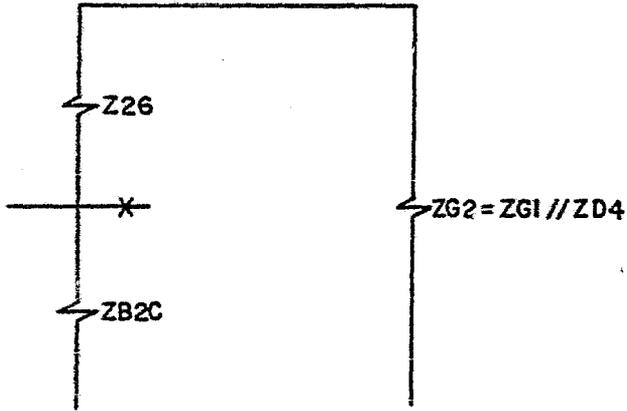
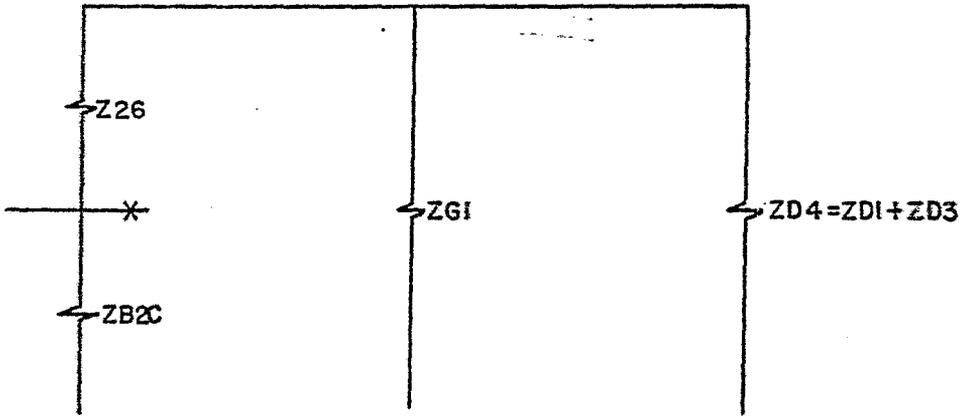
$$= 1.25 \times 17\ 218.6$$

$$\underline{P_{cc.asim.} = 21\ 523.25\ KVA}$$

$$\underline{P_{cc.sim.} = 17\ 218.6\ KVA}$$

álculo de la falla trifásica en el Bus (2C) teniéndose el siguiente diagrama de impedancias.





De cálculos anteriores se tiene:

$$\underline{ZD3 = 0.3143115 \%}$$

$$\underline{ZD4 = 7.1152005\%}$$

$$\underline{ZB2F = 56.5815\%}$$

$$\underline{ZB2D = 55.7665\%}$$

$$ZG1 = ZB2F // ZB2D$$

$$= 56.5815 // 55.7665$$

$$\underline{ZG1 = 28.085548\%}$$

$$ZG2 = ZG1 // ZD4$$

$$= 28.085548 // 7.1152005$$

$$\underline{ZG2 = 5.6769927\%}$$

$$ZG3 = ZG2 + Z26$$

$$= 5.6769927 + 0.8255$$

$$\underline{ZG3 = 6.5024927 \%}$$

$$\underline{ZB2C = 56.5815\%}$$

$$ZeB2C = ZG3 // ZB2C$$

$$= 6.5024927 // 56.5815$$

$$\underline{ZeB2C = 5.8053265 \%}$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el Bus (2C) se tiene:

$$I_{cc.sim.} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ base} \times ZeB2C\%}$$

$$KVA \text{ base} = 1000$$

$$KV \text{ base} = 0.48$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 0.48 \times 5.8053265} = 20\ 743.69\ A.$$

$$I_{cc.asim.} = F \times I_{cc.sim.} \qquad \text{donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 20\ 743.69$$

$$\underline{I_{cc.asim.} = 25\ 929.6\ A.} \qquad \underline{I_{cc.sim.} = 20\ 743.69\ A.}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$P_{cc.sim.} = \frac{KVA\ base \times 100}{Z_{eB2C}\%} \qquad KVA\ base = 1000$$

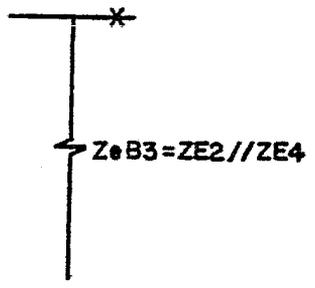
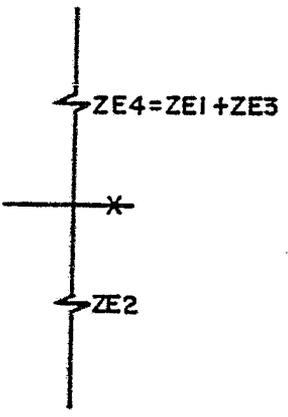
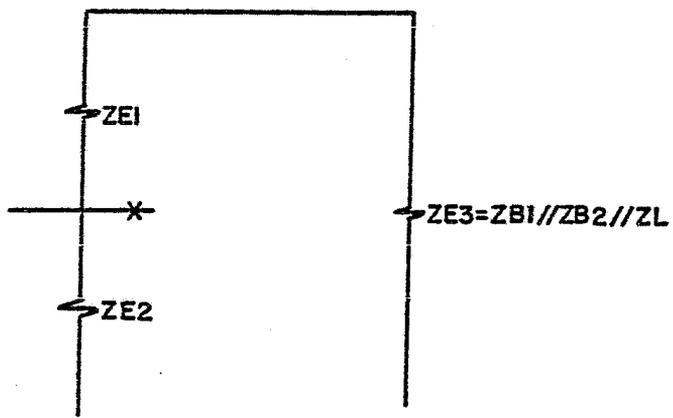
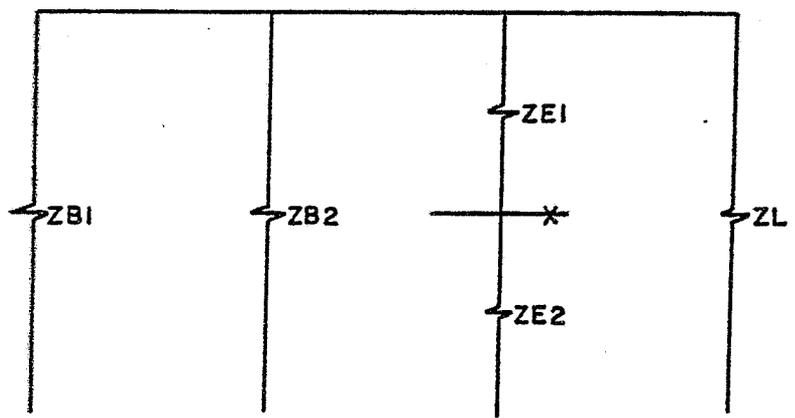
$$P_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{5.8053265} = 17\ 225.56\ KVA$$

$$P_{cc.asim.} = F \times P_{cc.sim.} \qquad \text{donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 17225.56$$

$$\underline{P_{cc.asim.} = 21\ 531.95\ KVA} \qquad \underline{P_{cc.sim.} = 17\ 225.56\ KVA}$$

álculo de la falla trifásica en el Bus (3) teniéndose el siguiente diagrama e impedancias.



De cálculos anteriores se tiene:

$$\underline{ZB1 = 7.0766157\%}$$

$$\underline{ZB2 = 25.389389\%}$$

$$\underline{ZL = 0.333 \%}$$

$$ZE3 = ZB1 // ZB2 // ZL$$

$$= 7.0766157 // 25.389389 // 0.333$$

$$\underline{ZE3 = 0.3143965\%}$$

$$\underline{ZE1 = 6.8196076\%}$$

$$ZE4 = ZE1 + ZE3$$

$$= 6.8196076 + 0.3143965$$

$$\underline{ZE4 = 7.1340041\%}$$

$$\underline{ZE2 = 18.027242\%}$$

$$ZeB3 = ZE2 // ZE4$$

$$= 18.027242 // 7.1340041$$

$$\underline{ZeB3 = 5.1112906\%}$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el Bus (3) se tiene:

$$I_{cc.sim.} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ base} \times ZeB3\%}$$

$$KVA \text{ base} = 1000$$

$$KV \text{ base} = 0.48$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 0.48 \times 5.1112906} = 23\ 560.37 \text{ A.}$$

$$I_{cc.asim.} = F \times I_{cc.sim.}$$

$$\text{Donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 23\ 560.37$$

$$\underline{I_{cc.asim.} = 29\ 450.46 \text{ A.}}$$

$$\underline{I_{cc.sim.} = 23\ 560.37 \text{ A.}}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$Pcc.sim. = \frac{KVA\ base \times 100}{Z_{eB}\%} \quad KVA\ base = 1000$$

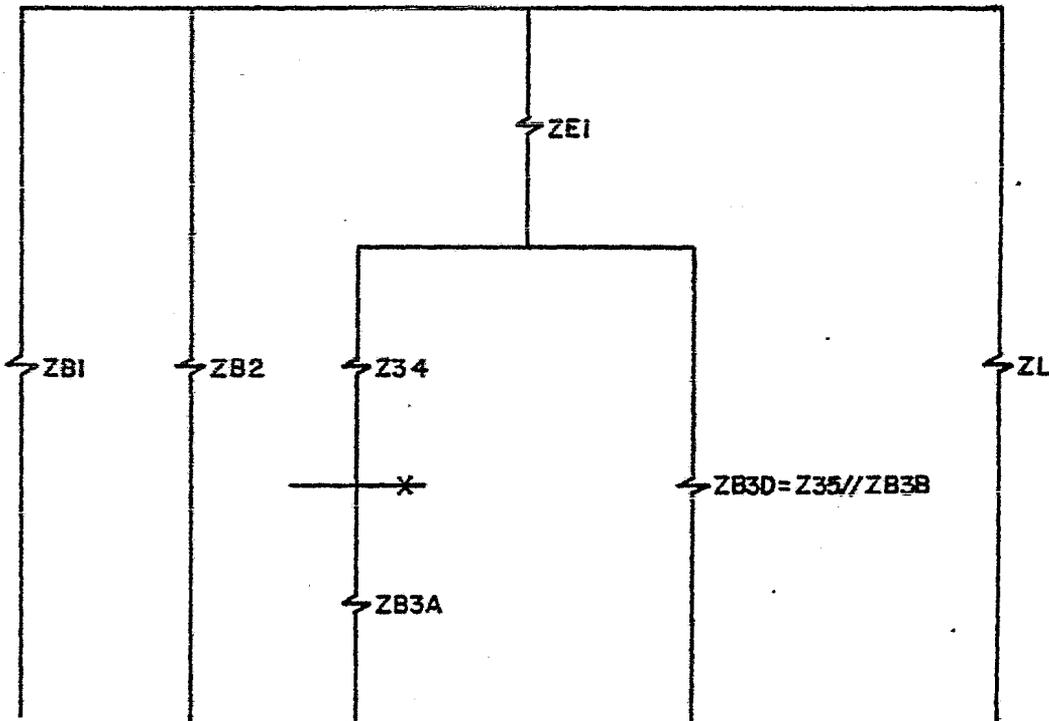
$$Pcc.sim. = \frac{1000 \times 100}{5.1112906} = 19\ 564.53\ KVA$$

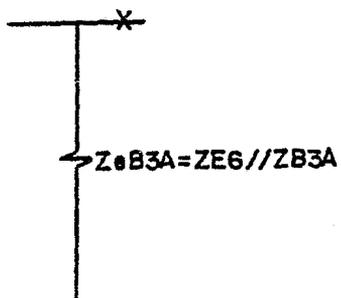
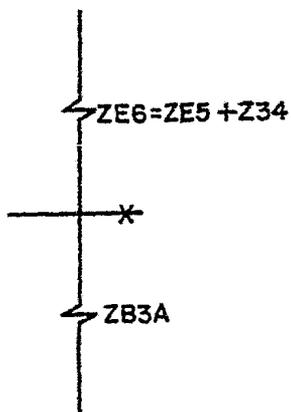
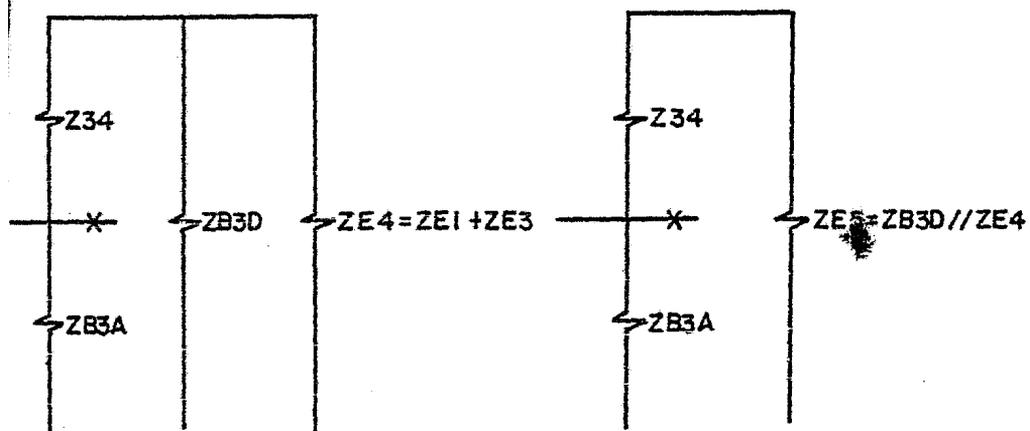
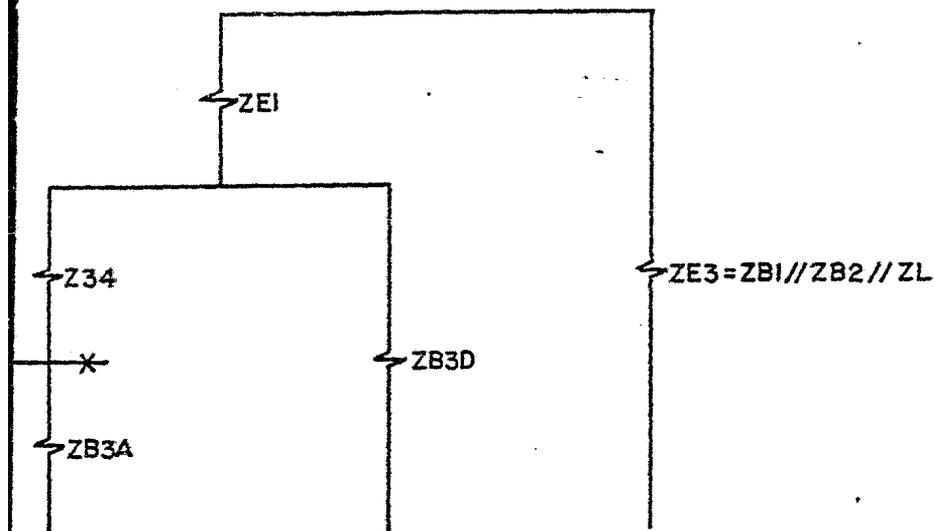
$$Pcc.asim. = F \times Pcc.sim. \quad \text{Donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 19\ 564.53$$

$$Pcc.asim. = 24\ 455.66\ KVA$$

$$Pcc.sim. = 19\ 564.53\ KVA$$





de cálculos anteriores se tiene:

$$\underline{ZE3 = 0.3143965\%}$$

$$\underline{ZE4 = 7.1340041\%}$$

$$ZB3D = Z35 + ZB3B$$

$$= 0.59895 + 34.88$$

$$\underline{ZB3D = 35.47895\%}$$

$$ZE5 = ZB3D // ZE4$$

$$= 35.47895 // 7.1340041$$

$$\underline{ZE5 = 5.9396742\%}$$

$$\underline{Z34 = 0.59895\%}$$

$$ZE6 = ZE5 + Z34$$

$$= 5.9396742 + 0.59895$$

$$\underline{ZE6 = 6.5386242\%}$$

$$ZeB3A = ZE6 // ZB3A$$

$$= 6.5386242 // 36.05$$

$$\underline{ZeB3A = 5.5347541\%}$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el Bus (3A) se tiene:

$$I_{cc.sim} = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ base} \times ZeB3A\%} \quad \begin{array}{l} KVA \text{ base} = 1000 \\ KV \text{ base} = 0.48 \end{array}$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 0.48 \times 5.5347541} = 21 \ 757.77 \ A$$

$$I_{cc.asim.} = F \times I_{cc.sim.} \quad \text{donde } F = 1.25$$
$$= 1.25 \times 21 \ 757.77$$

$$\underline{I_{cc.asim.} = 27 \ 197.21 \ A.}$$

$$\underline{I_{cc.sim.} = 21 \ 757.77A.}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$Pcc.sim. = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{Z_{eB3A} \%} \qquad KVA \text{ base} = 1000$$

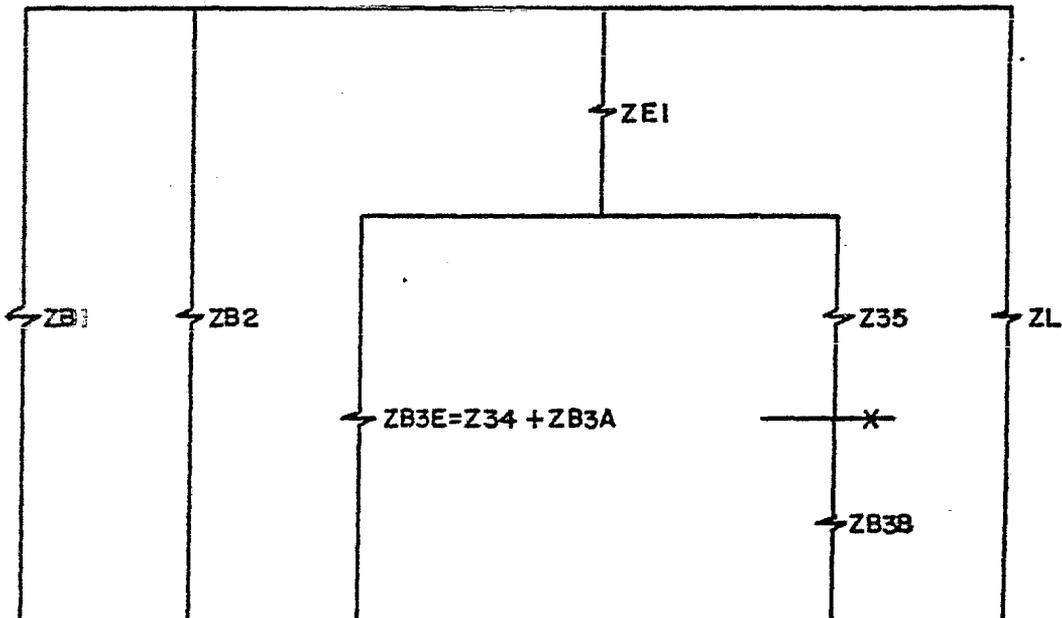
$$Pcc.sim. = \frac{1000 \times 100}{5.5347541} = 18\ 067.65 \text{ KVA}$$

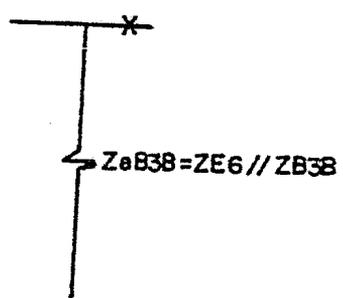
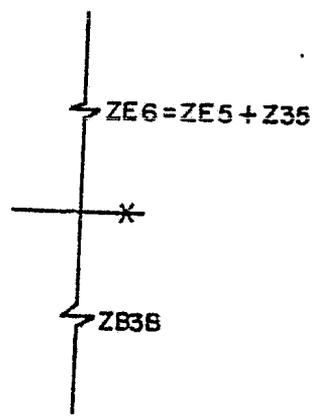
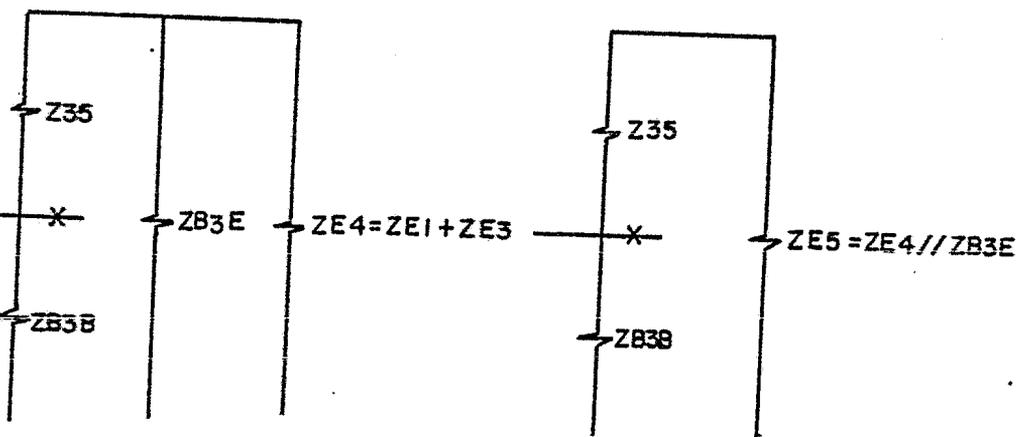
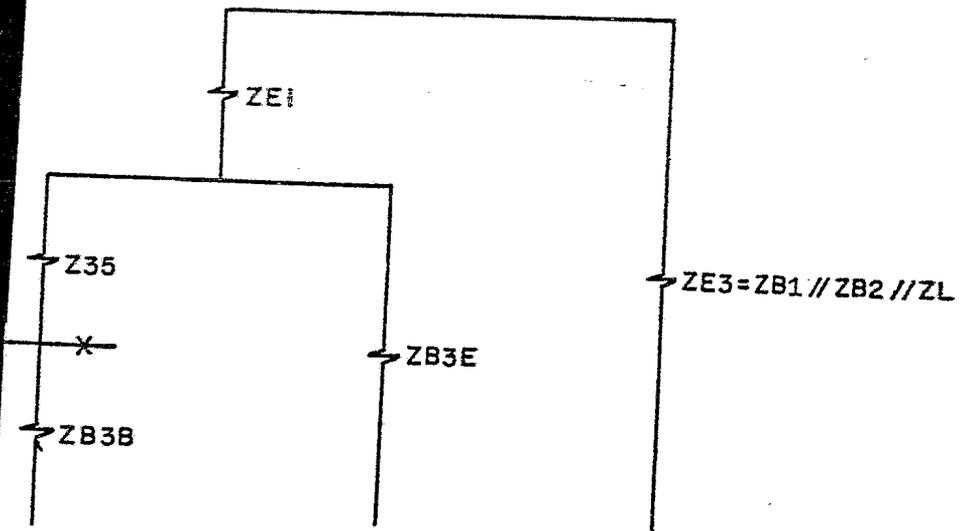
$$Pcc.asim. = F \times Pcc.sim. \qquad \text{Donde } F = 1.25$$

$$= 1.25 \times 18\ 067.65$$

$$Pcc.asim. = 22\ 584.56 \text{ KVA} \qquad Pcc.sim. = 18\ 067.65 \text{ KVA}$$

Cálculo de la falla trifásica en el Bus (3B) teniéndose el siguiente diagrama de impedancias.





De cálculos anteriores se tiene:

$$\underline{ZE3 = 0.3143965 \%}$$

$$\underline{ZE4 = 7.1340041\%}$$

$$\begin{aligned} ZB3E &= Z34 + ZB3A \\ &= 0.59895 + 36.05 \end{aligned}$$

$$\underline{ZB3E = 36.64895\%}$$

$$\begin{aligned} ZE5 &= ZE4 // ZB3E \\ &= 7.1340041 // 36.64895 \end{aligned}$$

$$\underline{ZE5 = 5.9715895\%}$$

$$\underline{Z35 = 0.59895\%}$$

$$\begin{aligned} ZE6 &= ZE5 + Z35 \\ &= 0.59895 + 0.59895 \end{aligned}$$

$$\underline{ZE6 = 6.5705395\%}$$

$$\underline{ZB3B = 34.88\%}$$

$$\begin{aligned} ZeB3B &= ZE6 // ZB3B \\ &= 6.5705395 // 34.88 \end{aligned}$$

$$\underline{ZeB3B = 5.5290101\%}$$

Para calcular la corriente de corto circuito simétrica y asimétrica en el Bus (3B) se tiene:

$$\begin{aligned} I_{cc.sim.} &= \frac{KVA \text{ base} \times 100}{\sqrt{3} \times KV \text{ base} \times ZeB3B\%} & KVA \text{ base} &= 1000 \\ & & KV \text{ base} &= 0.48 \end{aligned}$$

$$I_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{1.73 \times 0.48 \times 5.5290101} = 21\,780.37 \text{ A.}$$

$$I_{cc.asim.} = F \times I_{cc.sim.}$$

$$\text{Donde } F = 1.25$$

$$I_{cc.asim.} = 1.25 \times 21\ 780.37$$

$$\underline{I_{cc.asim.} = 27\ 225.46\ A}$$

$$\underline{I_{cc.sim.} = 21\ 780.37\ A}$$

Para calcular la potencia de corto circuito simétrica y asimétrica se tiene:

$$P_{cc.sim.} = \frac{KVA\ base \times 100}{Z_{eB3B}\%}$$

$$KVA\ base = 1000$$

$$P_{cc.sim.} = \frac{1000 \times 100}{5.5290101} = 18\ 086.42\ KVA$$

$$P_{cc.asim.} = F \times P_{cc.sim.}$$
$$= 1.25 \times 18\ 086.42$$

$$\text{donde } F = 1.25$$

$$\underline{P_{cc.asim.} = 22\ 608.03\ KVA}$$

$$\underline{P_{cc.sim.} = 18\ 086.42\ KVA}$$

Resultados de los cálculos de corto circuito.

#### Bus (1)

$$I_{cc.sim.} = 9\ 328.3\ A.$$

$$I_{cc.asim.} = 14\ 925.28\ A$$

$$P_{cc.sim.} = 67\ 133.72\ KVA.$$

$$P_{cc.asim.} = 107\ 413.95\ KVA$$

#### Bus (2)

$$I_{cc.sim.} = 23\ 403.28\ A.$$

$$I_{cc.asim.} = 29\ 254.1\ A.$$

$$P_{cc.sim.} = 19\ 434.08\ KVA.$$

$$P_{cc.asim.} = 24\ 292.6\ KVA.$$

#### Bus (2A)

$$I_{cc.sim.} = 20\ 726.96\ A..$$

$$I_{cc.asim.} = 25\ 908.7\ A.$$

$$P_{cc.sim.} = 17\ 211.67\ KVA.$$

$$P_{cc.asim.} = 21\ 514.59\ KVA.$$

#### Bus (2B)

$$I_{cc.sim.} = 20\ 735.31\ A.$$

$$I_{cc.asim.} = 25\ 919.14\ A.$$

$$P_{cc.sim.} = 17\ 218.6\ KVA.$$

$$P_{cc.asim.} = 21\ 523.25\ KVA.$$

Bus (2C)

Icc.sim. = 23 743.69 A.

Pcc.sim. = 17 225.56 KVA.

Icc.asim. = 25 929.6 A.

Pcc.asim. = 21 531.95 KVA.

Bus (3)

Icc.sim. = 23 560.37 A.

Pcc.sim. = 19 564.53 KVA.

Icc.asim. = 29 450.46 A.

Pcc.asim. = 24 455.66 KVA.

Bus (3A)

Icc.sim. = 21 757.77 A.

Pcc.sim. = 18 067.65 KVA.

Icc.asim. = 27 197.21 A.

Pcc.asim. = 22 584.55 KVA.

Bus (3B)

Icc.sim. = 21 780.37 A.

Pcc.sim. = 18 086.42 KVA.

Icc.asim. = 27 225.46 A.

Pcc.asim. = 22 608.03 KVA.

## SELECCION DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS DE PROTECCION, CODIGOS Y NORMAS APLICABLES

### 3.1 Fusibles

En la selección de los fusibles limitadores de corriente es muy importante considerar todos los factores que intervienen en la instalación y se recomienda - tomar en cuenta lo siguiente:

- Corriente de carga
- Voltaje de operación
- Frecuencia
- Capacidad Interruptiva
- Localización
- Coordinación con otros dispositivos de protección
- Normas aplicables

A continuación se describen brevemente cada uno de los puntos mencionados.

#### CORRIENTE DE CARGA

La corriente normal del fusible debe ser igual o mayor que la corriente máxima que pasará por el fusible.

Las sobrecorrientes con duración muy cercana al tiempo de fusión del fusible - podrían dañar el elemento fusible y cambiar las características del tiempo de - fusión; para evitar estos daños y cambios ocasionados por variaciones momentáneas de sobre-corriente, como por ejemplo: la corriente de magnetización de - transformadores al energizarse y la corriente de arranque en un motor, las sobrecorrientes no deben exceder el 75% del "tiempo mínimo de fusión".

Al utilizarse en la protección de transformadores el fusible de potencia seleccionado deberá tener una capacidad conductiva entre ocho y doce veces la corriente nominal del transformador de potencia durante un décimo de segundo para asegurar que pase la corriente de magnetización al energizar el transformador. También deben considerarse otros factores tales como el punto ANSI y la coordinación entre el fusible y otros dispositivos de protección.

Los fusibles que se usan para proteger motores en forma individual contra cortos circuitos están diseñados solamente para interrumpir fallas de corrientes muy altas. El elemento fusible se funde aproximadamente en 100 segundos y los valores son del orden de varias decenas de miles de amperes.

Se debe considerar todos los factores que afecten la instalación como la corriente a plena carga del motor, la corriente a rotor bloqueado, las características del relevador de sobrecarga, para asegurar una buena coordinación en la instalación.

#### VOLTAJE DE OPERACION

La tensión de operación entre fases, de un circuito, debe ser del 70 al 100% de la tensión del fusible. Se recomienda usar el límite inferior porque la acción limitadora de la corriente original del fusible, resulta de un alto restablecimiento de tensión sobre el punto de fusión del valor de la capacidad interruptiva.

#### CAPACIDAD INTERRUPTIVA

La capacidad interruptiva de los fusibles deberá ser igual o mayor a la capacidad disponible en un corto circuito en el punto de instalación del fusible.

#### FRECUENCIA

Los fusibles con valores mayores de 10 arps., tienen diferentes capacidades interruptivas en 25 y 60 ciclos, los de 60 ciclos pueden usarse para 50 ciclos también.

#### LOCALIZACION

Los requisitos esenciales para la instalación de fusibles de potencia en in-

teriores, son la operación segura silenciosa y la no expulsión de vapor de gas, líquido, flama o partes metálicas, observando estos requisitos pueden operar dentro de un gabinete.

## COORDINACION

Cuando se usa un arrancador de motor, combinado con fusibles, es necesario hacer una coordinación de los accesorios del arrancador, para evitar que el fusible se funda durante el arranque del motor o durante las sobrecargas normales de operación.

### 3.2 Relevadores

El relevador de protección es un dispositivo eléctrico diseñado para aislar una parte de una instalación eléctrica, en el caso de condición anormal o de falla.

En los sistemas eléctricos generalmente se prefieren los esquemas en los que la rapidez del aislamiento de la falla es proporcional a la corriente, es decir, a mayor corriente corresponde una respuesta de operación del relevador más rápido.

Debido al largo tiempo de operación con valores bajos de sobrecarga, los relevadores de tiempo extremadamente inversos resultan muy adecuados y además son muy apropiados cuando se requiere la graduación o ajuste con fusibles.

En todos los relevadores de tiempo extremadamente inverso tienen dos posiciones básicas ajustables; una es la posición de ajuste del multiplicador del tiempo y la segunda es la posición de ajuste de la corriente que se conoce como multiplicador del ajuste de corriente.

Para la coordinación de los relevadores ya mencionados se debe seguir el siguiente procedimiento para su selección y para decidir la entrada en operación, sea el ajuste de la corriente y del tiempo.

Para el ajuste de la corriente, se necesita calcular la corriente máxima de falla que puede ocurrir en cada posición del relevador. Una falla trifásica bajo generación máxima de la corriente máxima de falla y la falla de fase a fase bajo generación mínima de la corriente mínima de falla. Teniendo los dos valores extremos de la corriente de falla el relevador tiene que responder entre estas dos condiciones.

La posición de la corriente en el relevador se ajusta por medio de un puente de enchufe con varias terminales conocido como TAP.

$$\text{TAP} = \frac{\text{Corriente Primaria}}{\text{Ajuste de corriente x relación de transformación del relevador de corriente}}$$

El ajuste del tiempo debe hacerse a la corriente máxima de falla, automáticamente tendrá mayor precisión a la corriente mínima de falla, ya que la curva es más inversa en la región inferior de la corriente.

Los relevadores de protección de falla a tierra generalmente, la magnitud de la corriente de falla a tierra es baja en comparación con las corrientes de falla de fase, debido a que la impedancia de la falla es mucho mayor en las fallas de tierra que en las de fase. Y depende también del tipo de aterrizaje del neutro, es decir, del hecho de que esté sólidamente aterrizado, aislado o aterrizado mediante una resistencia o reactancia.

El relevador que se conecta para protección de falla a tierra es diferente de los que se emplean para fallas de fase.

El relevador funciona con corriente de secuencia cero; bajo condiciones de carga normal, en fallas de fase a fase o trifásicas la corriente que pasa por el relevador es nula y el ajuste del relevador es independiente de la corriente de carga. Por lo anterior, los relevadores para falla de tierra se ajustan a valores comprendidos entre el 30 y el 70% de la corriente nominal.

Los relevadores de sobrecarga se usan para la protección de motores eléctricos

contra excesivas corrientes de línea, al conectar su contacto de operación en serie con el circuito de control de los contactores magnéticos del arrancador del motor. La protección contra sobrecargas del motor es proporcionada por tres relevadores sensibles a la corriente, conectados en serie con los devanados del motor. Si éste toma de la línea una corriente mayor que la normal como resultado de una sobre carga en el motor, una tensión baja en la línea o la falta de tensión en una de las fases, se abre un contacto en el circuito de control del arrancador desconectando la bobina y abriendo los contactos del arrancador.

Los relevadores térmicos de sobrecarga son del tipo de aleación fusible, no ajustables, impidiendo así alteraciones en la protección y haciéndola más segura. No necesitan partes de repuesto ni se deterioran o descalibran por operaciones repetidas. Su acción es retardada a tiempo inverso, lo cual impide que operen con corrientes de arranque normales o con sobrecargas momentáneas no peligrosas.

Para la selección del elemento térmico se siguen estos pasos:

- 1.- Se determina la corriente de plena carga del motor, el factor de servicio y la temperatura ambiente donde se va a instalar.
- 2.- Localizar la tabla de selección apropiada basado sobre la clase, tipo y tamaño del equipo a usar.
- 3.- El número del elemento térmico deberá ser el adyacente al rango de la corriente de plena carga del motor.

### 3.3 Interruptores

Para la selección de los interruptores se recomienda considerar los siguientes factores para determinar el tipo más apropiado.

- |                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| - Corriente de carga                  | - Voltaje de operación   |
| - Frecuencia de operación             | - Capacidad interruptiva |
| - Coordinación con otros dispositivos | - Normas aplicables      |

Los interruptores electromagnéticos tienen unidades de disparo que pueden ser ajustados, a valores requeridos, de acuerdo con las necesidades de protección y coordinación.

Se requiere únicamente una unidad de disparo por interruptor, el cual recibe

toda su energía de un juego de sensores, montados uno en cada polo del interruptor y desarrolla una señal de salida a una bobina de baja energía, cuando las condiciones prefijadas de magnitud de la corriente y duración se hayan excedido.

Este dispositivo o unidad de disparo puede suministrarse con cualquier combinación de funciones de disparo por sobrecorriente, siendo éstas:

- 1.- Tiempo diferido largo
- 2.- Tiempo diferido corto
- 3.- Instantáneo
- 4.- Protección contra fallas a tierra.

El rango de la corriente de disparo de un interruptor está determinado por el rango de los sensores que se utilizan con el dispositivo de disparo.

En los interruptores termomagnéticos se usa comúnmente una combinación de - disparo por acción térmica e instantánea por acción magnética, los cuales procuran retardo de tiempo en sobrecorrientes moderadas y operación instantánea en altos valores de corriente de corto circuito.

#### 3.4 Estudio de curvas de operación tiempo-corriente

##### FUSIBLES

Todos los fusibles tienen una curva característica de operación llamada "Tiempo mínimo de fusión" y otra llamada de "Tiempo total de aclaramiento".

El "Tiempo mínimo de fusión" es el tiempo requerido por el elemento fusible - para fundirse a un valor estable de corriente de acuerdo con su rango.

Después de fundido el elemento, se requiere algún tiempo para extinguir el arco tiene un valor aproximadamente del 20% más del tiempo mínimo y es el porcentaje que se utiliza para obtener la curva de tolerancia del fabricante, y se conoce como "Tiempo total de aclaramiento".

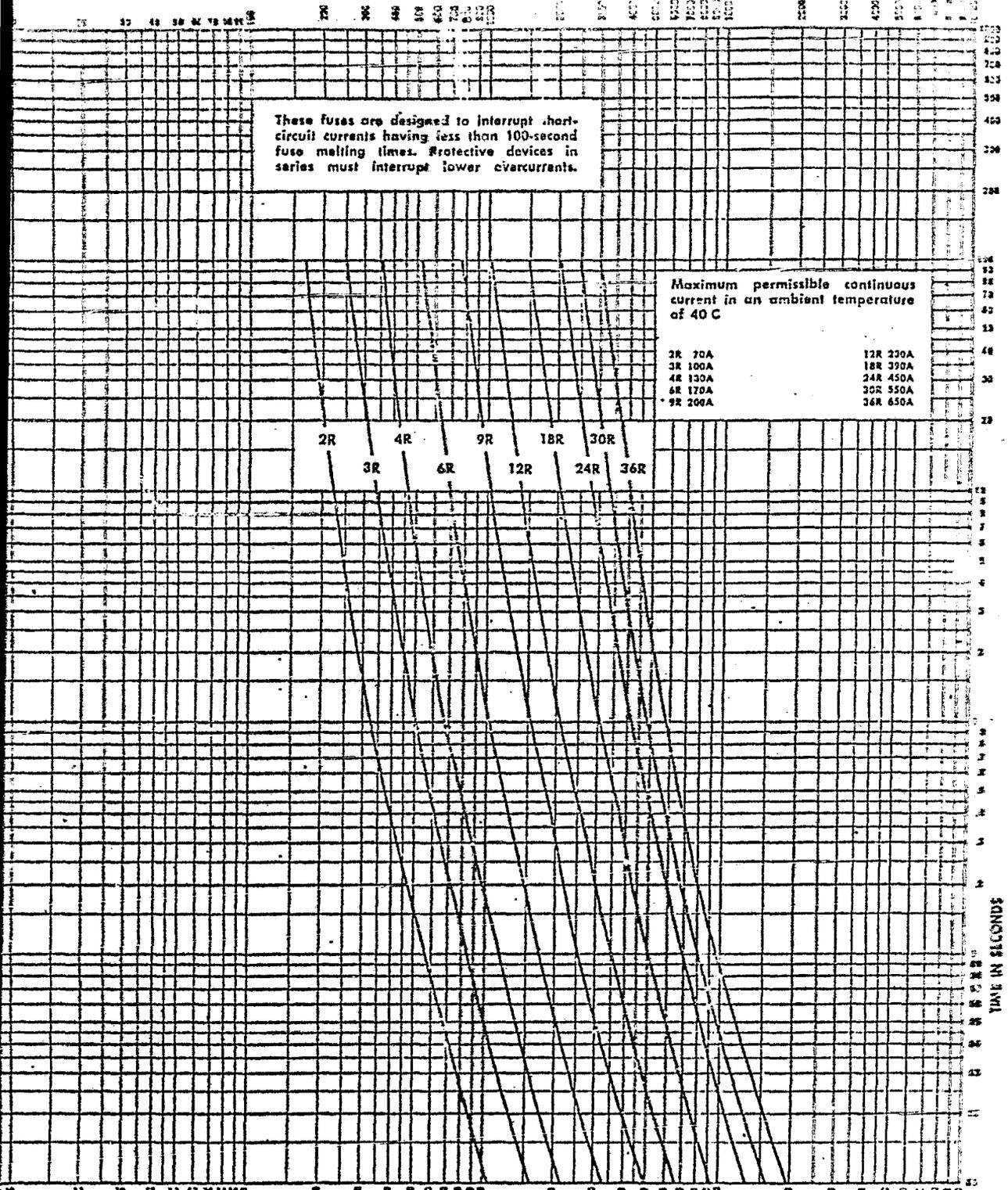
Las curvas de operación tiempo-corriente de los fusibles limitadores de corriente utilizados para proteger a los motores que operan a un voltaje de 4.16 KV., son del tipo EJ-2 General Electric y se muestran en las figuras 3.4.1 y 3.4.2. Las características de las curvas de los fusibles para proteger a los transformadores de potencia en 13.8 KV., son del tipo DRVAL - 15/125S Driescher y Wittjohann ver figura 3.4.3.

These fuses are designed to interrupt short-circuit currents having less than 100-second fuse melting times. Protective devices in series must interrupt lower overcurrents.

Maximum permissible continuous current in an ambient temperature of 40 C

2R 70A	12R 230A
3R 100A	18R 370A
4R 130A	24R 450A
6R 170A	30R 550A
9R 200A	36R 650A

2R 4R 9R 18R 30R  
3R 6R 12R 24R 36R



BI-50-LAC-D.04/C-2930  
 PEDIDO:FMX.50-LAC-D.04-E./18-19783-1  
 PEDIDO BI: 5493/19783:1  
 PLANTA: NITRATO DE AMONIO  
 OT. 3531

**GENERAL ELECTRIC**

**CURRENT-LIMITING MOTOR STARTER POWER FUSE  
 EJ-2 2.54 & 5.08 KV MAX.**

GES-8100B

Size D (2R to 12R), DD (18R, 24R) & EE (30R, 36R)  
 Minimum Melting Time-current Curves

Current Ratings  
 Limit as Indicated

Frequency Rating  
 60 Hertz

(At 25 C with no initial load)

CURRENT IN AMPERES

These fuses are designed to interrupt short-circuit currents having less than 100-second fuse melting times. Protective devices in series must interrupt lower overcurrents.

Maximum permissible continuous current in an ambient temperature of 40 C

2R 75A	12R 230A
3R 100A	18R 390A
4R 130A	24R 450A
6R 175A	30R 550A
9R 200A	36R 650A

2R 4R 9R 18R 30R  
3R 6R 12R 24R 36R

-50-LAC-D.04/C-2930  
DIDO:FMX.50-LAC-D.04-E./18-19783-1  
DIDO B1: 5493/19783-1  
ANTA: NITRATO DE AMONIO  
3531

CURRENT IN AMPERES

TIME IN SECONDS

**GENERAL ELECTRIC**

CURRENT-LIMITING MOTOR STARTER POWER FUSE  
**EJ-2 2.54 & 5.08 KV MAX.**

GE5-8101B

Current Rating  
Limit as indicated

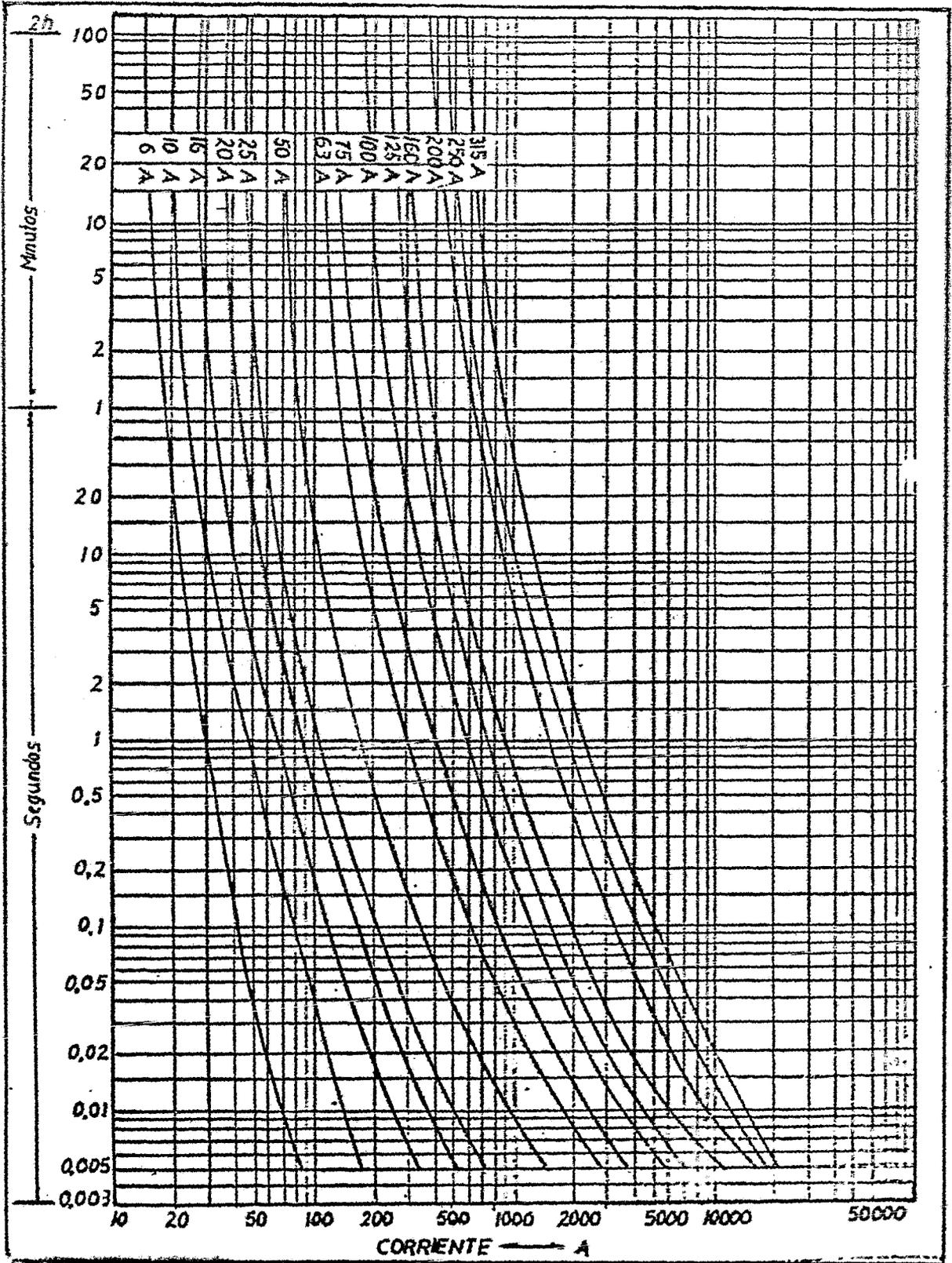
Size D (2R to 12R), DD (18R, 24R) & EE (30R, 36R)

Frequency Rating  
60 Hertz

Maximum Total-clearing Time-current Curves

(At 23C with no initial load)

**CURVAS DE CORRIENTE**  
**PARA FUSIBLES HH 5-315 AMPERES**



## RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

El tiempo de operación de todos los relevadores de sobrecorriente tiende a volverse asintótica a un valor mínimo definido al aumentar el valor de la corriente.

Esto es inherente a los relevadores electromagnéticos debido a la saturación del circuito magnético.

En consecuencia haciendo variar el punto de saturación del núcleo se obtienen diferentes características como:

- Tiempo definido
- Tiempo inverso
- Tiempo muy inverso
- Tiempo extremadamente inverso

Estas características se obtienen con los relevadores de inducción del tipo de disco y del de copa.

Estos relevadores tienen dos posiciones de ajuste; la primera se llama ajuste del multiplicador de tiempo (AMT) o Time Dial Setting y la segunda es el ajuste del multiplicador de corriente (TAP) o Multiples of Tap Value Current.

El hecho de aumentar el AMT, desplaza la curva a una posición más alta en la escala de tiempo y el aumentar el ajuste de la corriente de operación del relevador desplaza el TAP hacia el eje del tiempo.

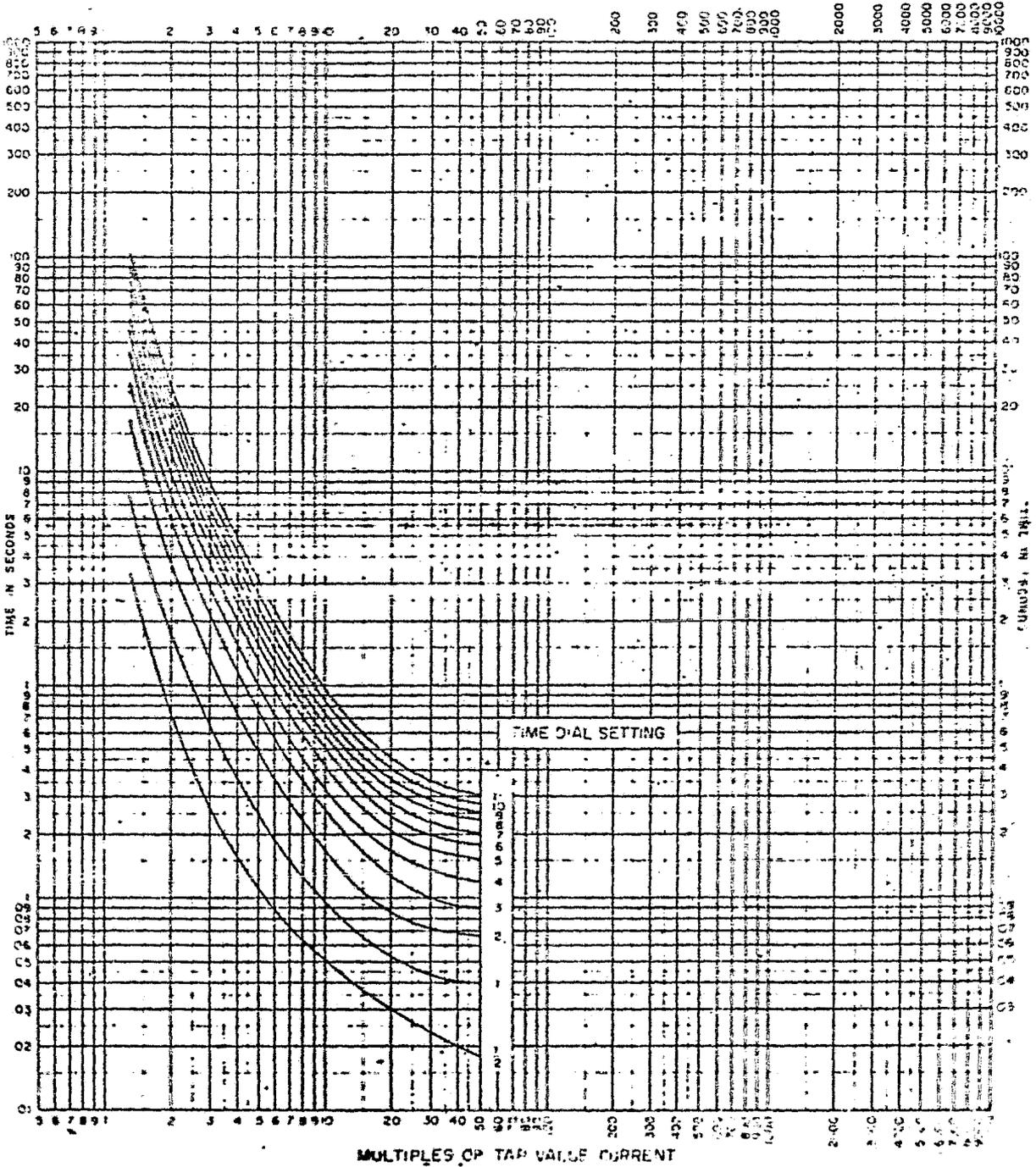
Las curvas de operación tiempo-corriente que se utilizaron fueron las del relevador de sobrecorriente de tiempo extremadamente inverso, tipo CO-11 -- Westinghouse y se muestran en la figura 3.4.4. donde; el rango de ajuste o Time dial setting es ( $\frac{1}{2}$  - II) y el rango de ajuste del TAP es (4-12).

Las curvas de operación tiempo-corriente del relevador de falla a tierra tipo GA Square'D se muestran en la figura 3.4.5. donde el rango del Tiempo es (1.5 - 36 ciclos) y el rango de corriente es (4 - 1200 A.).

TYPE 30-0 EXTREMELY INVERSE TIME OVERCURRENT RELAY  
 TYPICAL 50/60 CYCLE CURRENT TIME CURVES

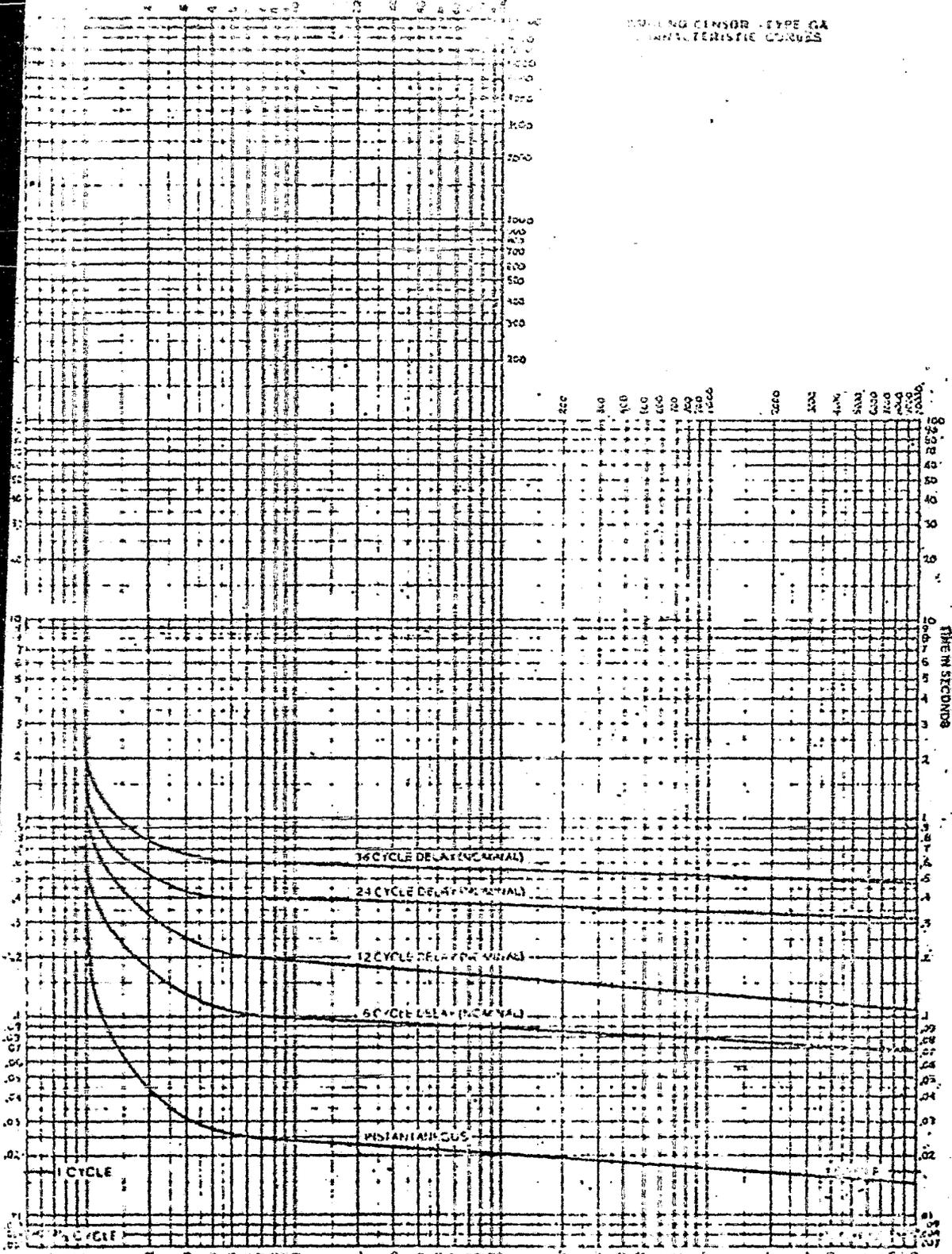
WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION NEWARK, N.J. U.S.A.

CURVE # 418267



MULTIPLES OF CURRENT SETTING

MOVING COILS - TYPE GA  
CHARACTERISTIC CURVES



Las curvas de operación tiempo-corriente del relevador de falla a tierra - para proteger el transformador de potencia es del tipo CO-2 Westinghouse y se muestran en la figura 3.4.6 donde el rango de ajuste del Time Dial Setting es ( $\frac{1}{2}$  - 11) y el rango de ajuste del Tap es (0.5 -2.5 A.)

Los relevadores térmicos de sobrecarga usados son del tipo (AR.44-AR40) - Square'D sus características se muestran en la figura 3.4.7

### INTERRUPTORES

Para la coordinación con otros dispositivos de protección, los interruptores electromagnéticos tipo DS IEM tienen los siguientes rangos ajustables continuos de la unidad de disparo llamado Amptector.

Ajuste Tiempo diferido largo (múltiplos del rango del sensor)	Tiempo diferido largo segundos (6 veces el rango del sensor)	Ajuste tiempo corto (múltiplos del rango del sensor)	Tiempo diferido corto en segundos.
0.5 a 1.25	4 a 36	4 a 10	0.18 a 0.50
Ajuste instanteo (múltiplos del rango del sensor)	Ajuste a tierra (múltiplos del rango del sensor)	Disparo fallas a tierra en segundos .	
4 a 12	0.20	0.21 a 0.50	

Los rangos disponibles de los sensores que se tienen son:

<u>Tipo de Interruptor</u>	<u>Rango del sensor en amperes</u>
DS-416	100,150,200,300,400,600,800,1200,1600
DS-420	1000,1200,1400,1600,1800,2000

OVERLOAD RELAY  
TIME—CURRENT  
CHARACTERISTICS

MELTING ALLOY

RELAY DESIGN:  BIMETALLIC

TEMPERATURE—  
COMPENSATED

THERMAL UNIT  
TYPE(S) AR.44 — AR 40

CURVES APPLY ONLY FOR EQUIPMENT  
INDICATED BELOW:

- AC MAGNETIC STARTER
- AC MANUAL STARTER
- SEPARATE OVERLOAD RELAY
- \_\_\_\_\_

SIZE 0.1 TYPE SB, SC

FORM B SERIES B

WITH (QTY) 3 THERMAL UNIT(S).

WHEN INSTALLED IN:

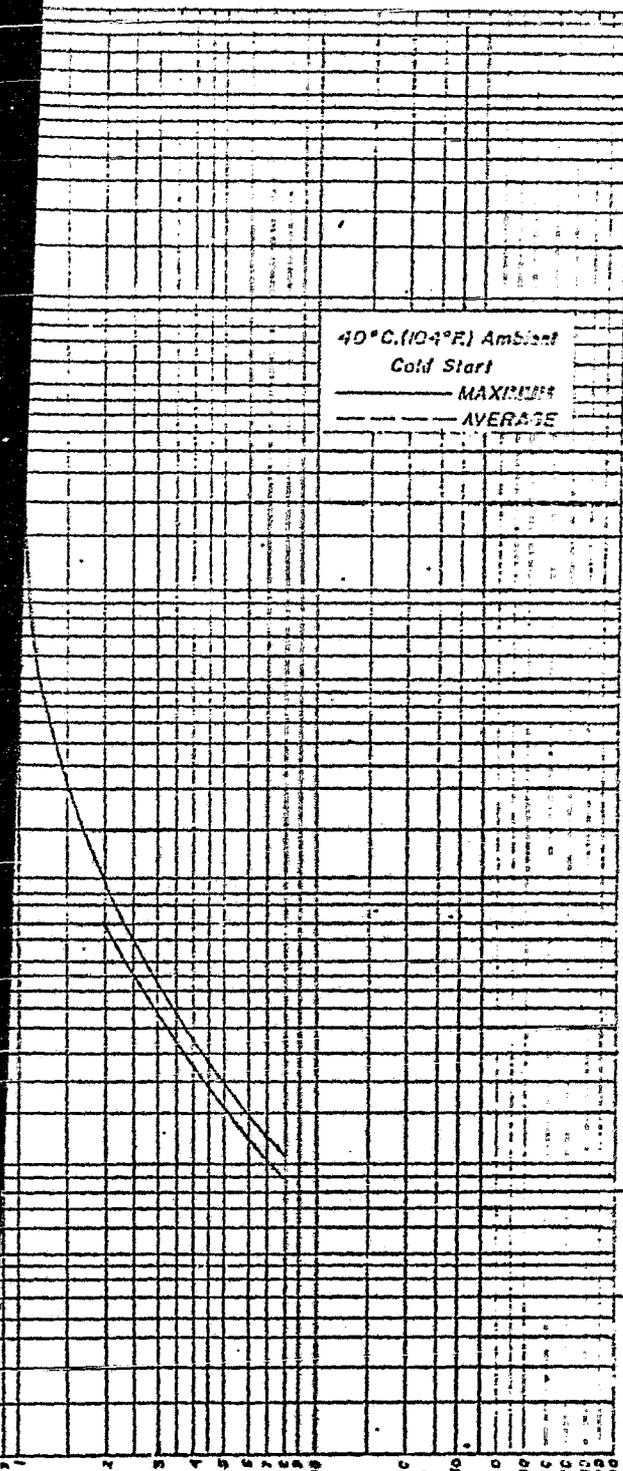
- SMALL ENCLOSURE (CLASS 8536  
ONLY)
- MOTOR CONTROL CENTER (CLASS  
8998, 8999, QMB, I-LINE)
- ALL OTHER (LARGER) ENCLOSURES
- \_\_\_\_\_

(BASED ON TABLE 830068-182)

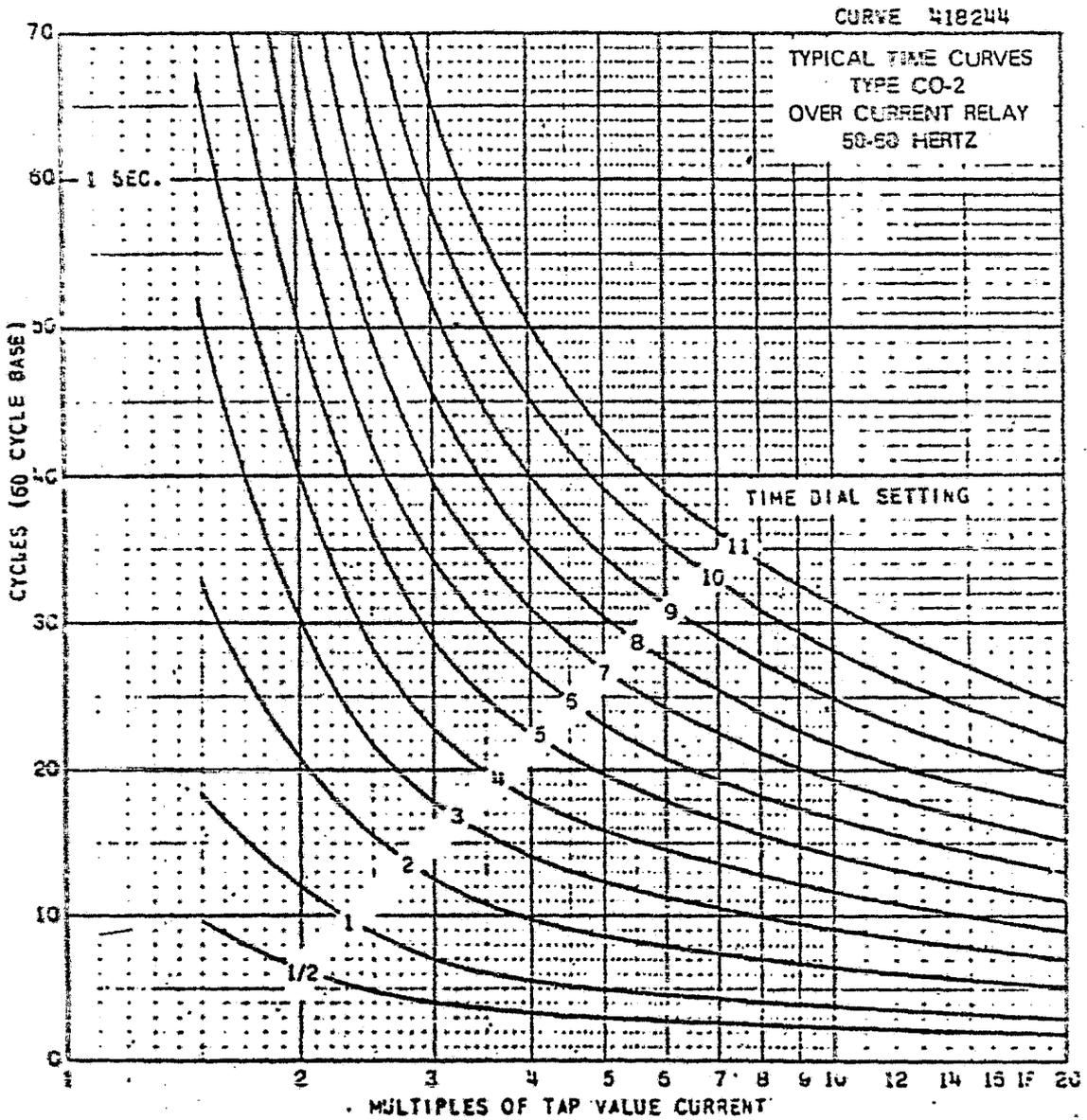
REV. H, AND TEST \_\_\_\_\_

NOTE:

CURVES ALSO APPLY FOR CLASS 90E5  
TYPE SEQ-6B SERIES B SEPARATE OVER-  
LOAD RELAYS.



MULTIPLES OF TRIP CURRENT RATING



418244

Fig. Typical Time Curve of the Type CO-2 Relay

Las curvas tiempo-corriente se muestran en la figura 3.4.8. Los interruptores termomagnéticos utilizados son del tipo (LA) Square'D a 600 volts., en C.A., teniendo una calibración del elemento magnético en amperes. La mínima es de 4 veces la corriente nominal del interruptor y la máxima de 10 veces - ver la figura 3.4.9.

#### TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC)

Como sabemos las corrientes en los circuitos primarios son de gran magnitud y al reducirla a valores adecuados para la operación de los relevadores se utilizan los transformadores de corriente (TC).

En consecuencia, los transformadores de corriente, aíslan los circuitos secundarios, de los circuitos primarios, y proveen en el secundario corrientes que son proporcionales a las del primario.

El devanado primario del TC se conecta en serie con la carga y conduce las corrientes reales del sistema de potencia (normales y de falla). El secundario se conecta al circuito del relevador.

El TC trabaja en forma similar a cualquier otro transformador y por lo tanto, la corriente del primario tiene dos componentes, la corriente del secundario y la corriente de excitación que magnetiza al núcleo. Esta última corriente no se transforma y es la que ocasiona los errores de transformación.

Por esta razón, hay ciertos valores de la corriente secundaria que no pueden producirse nunca, cualquiera que sea el valor de la corriente del primario. Esto ocurre cuando se satura el núcleo y para magnetizarlo se requiere una cantidad desproporcionada de corriente en el primario.

En la figura 3.4.10 ilustra la forma general de una curva de magnetización de un TC.

La curva característica está dividida en tres regiones definidas, por el "punto de tobillo" y el "punto de rodilla". La frontera entre las regiones, saturada y no saturada, la marca el punto de rodilla, el cual se define como el punto en el que un incremento del 10% en el voltaje secundario produce un incremento del 50% en la corriente de excitación.

MULTIPLES OF RATED CURRENT

LA CHARACTERISTIC CURVE

150-AM AMPERES—2 & 3 POLES  
600 V. AC, 250 V. DC

INTERRUPTING CAPACITY—R.M.S. SYMMETRICAL AMPERE

Circuit No. Poles	No. Poles	Volts AC			Volts DC
		240	480	600	250
LA, LAL	2	40,000	20,000	10,000	11,000
	3	40,000	20,000	10,000	11,000
LAL, LAL	2	25,000	15,000	10,000	10,000
	3	25,000	15,000	10,000	10,000

40°C AMBIENT COLD START

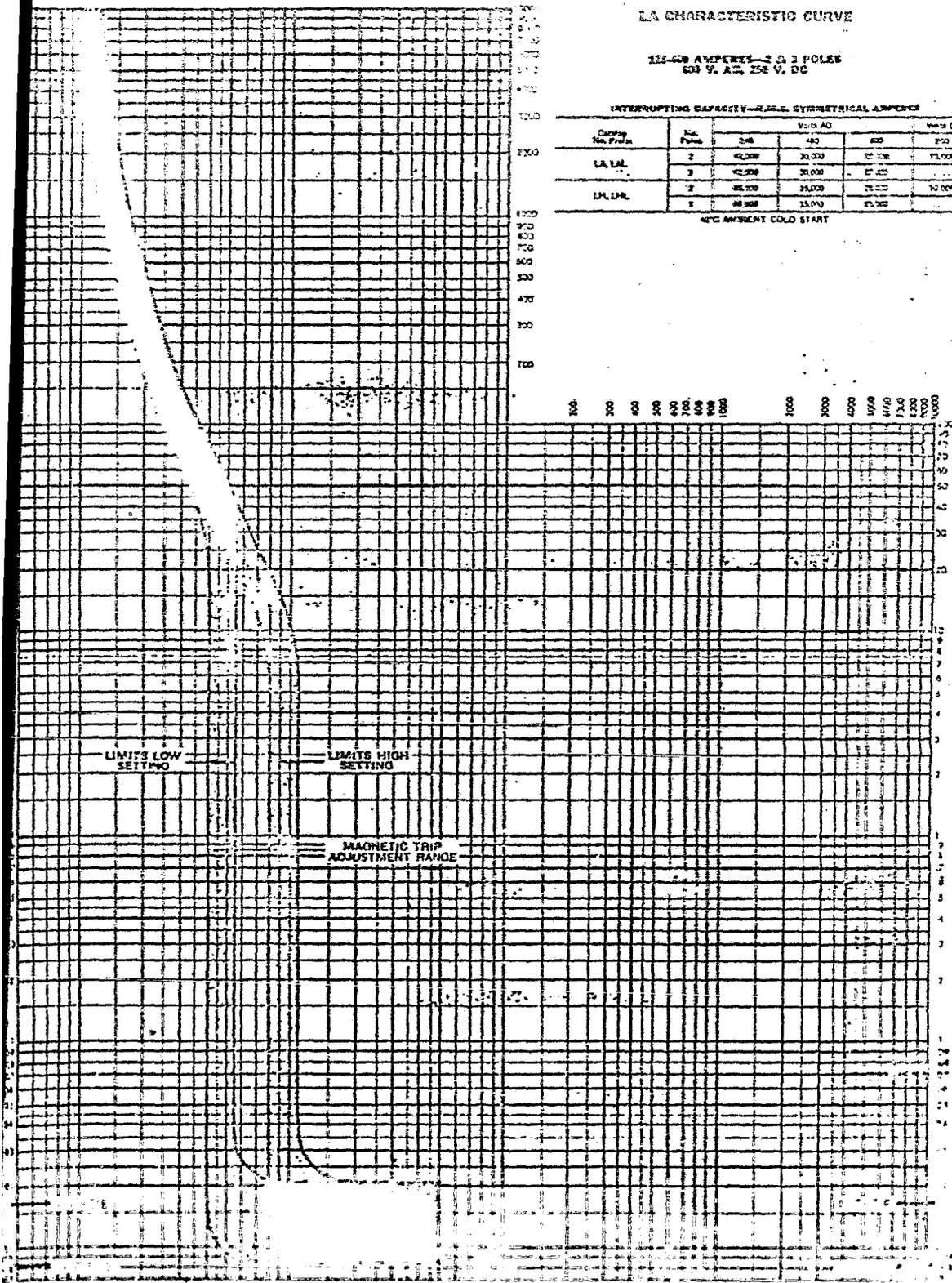
LIMITS LOW  
SETTING

LIMITS HIGH  
SETTING

MAGNETIC TRIP  
ADJUSTMENT RANGE

TIME IN SECONDS

MULTIPLES OF RATED CURRENT



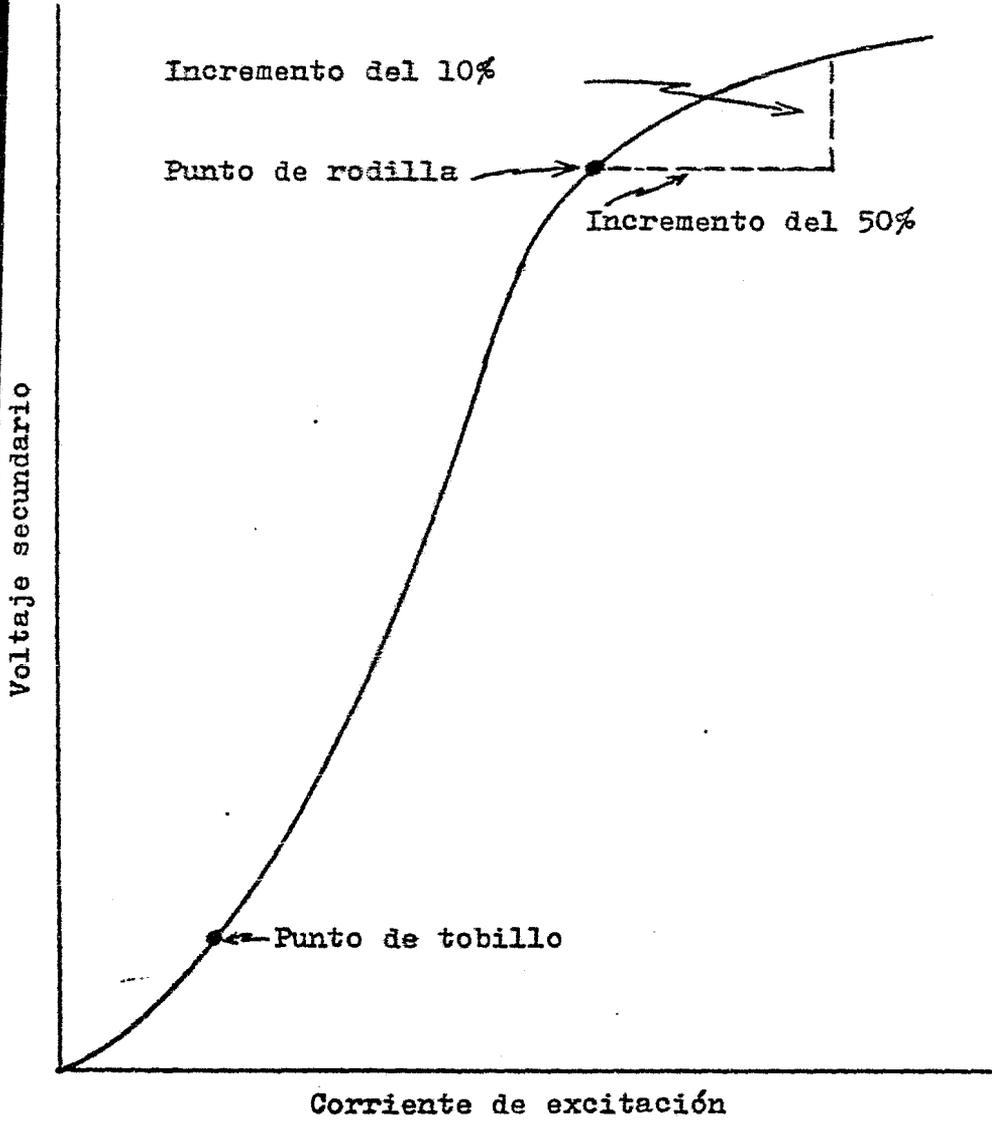
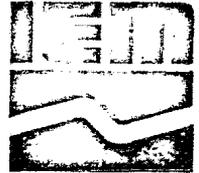


Fig. 3.4.10 Características de magnetización de un TC.

# TABLEROS BLINDADOS DE BAJA TENSION CON INTERRUPTORES TIPO DS



## CARACTERISTICAS DEL AMPLECTOR

Ajuste Disparo fallas a tierra (fijo a 0.2 veces el rango del sensor).

Ajuste del tiempo largo calibrado a 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 y 1.25 veces el rango del sensor.

Curva máxima

Curva mínima

Tiempo diferido largo calibrado de 4 a 36 segundos (a 6 veces el rango del sensor y en pasos de 4 segundos.)

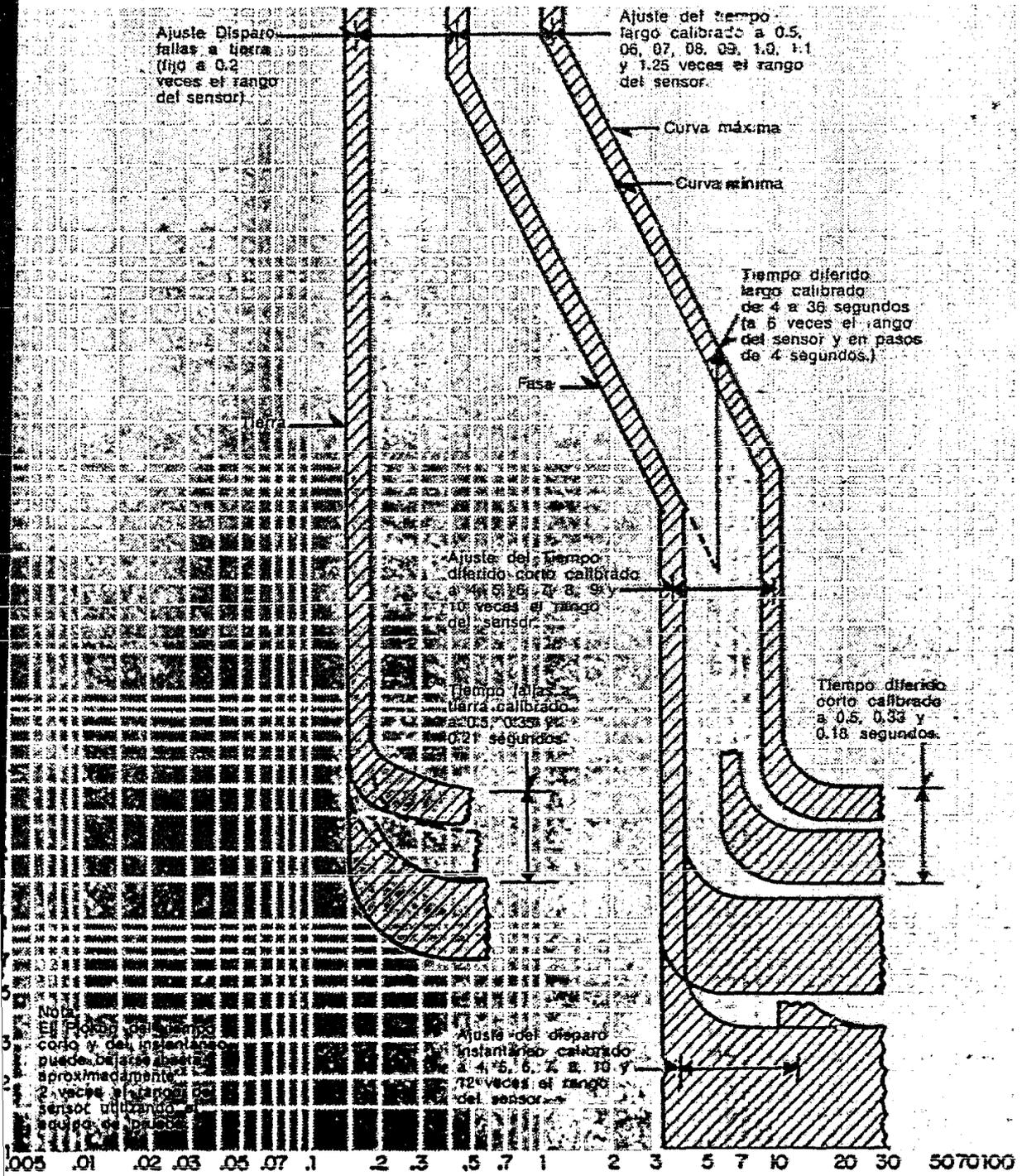
Fase

Ajuste del tiempo diferido corto calibrado a 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 veces el rango del sensor.

Tiempo fallas a tierra calibrado a 0.21 segundos.

Tiempo diferido corto calibrado a 0.5, 0.33 y 0.18 segundos.

Ajuste del disparo instantáneo calibrado a 4, 5, 6, 7 y 10 y 12 veces el rango del sensor.



Corriente en múltiplos del rango de los sensores.

Se puede observar que el intervalo de trabajo de un transformador de corriente para protección se extiende sobre el intervalo comprendido entre los puntos de tobillo y de rodilla.

Los transformadores de corriente para protección necesitan características - lineales hasta en el voltaje secundario correspondiente a la corriente máxima de falla que pasa por la carga conectada. En el núcleo de los TC se emplean aceros de cristales orientados, con altos niveles de saturación utilizando aleaciones de hierro-níquel, de baja excitación por unidad de longitud del núcleo, y con el punto de rodilla a una densidad de flujo relativamente baja.

#### DAFOS NECESARIOS PARA LA SELECCION DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

##### 1.- Tipo de instalación:

Indicar si es para ser instalado en interior o en intemperie.

##### 2.- Posición de montaje:

Indicar la posición de montaje deseada, vertical, horizontal o invertida.

##### 3.- Relación nominal de transformación:

Expresada en términos de: corriente nominal primaria a corriente nominal secundaria.

##### 3.1.- Corriente nominal primaria:

Se debe fijar el consumo de las máquinas y/o aparatos conectados en el sistema. La relación de transformación se selecciona generalmente con el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación. De acuerdo con las normas (ANSI, VDE, CEI, etc.), se tienen los siguientes valores normalizados:

10	75	400
15	100	600
25	150	800
40	200	1200
50	300	1500

##### 3.2.- Corriente nominal secundaria:

Normalmente se da 5 amperes. Excepto en caso de distancias largas entre los transformadores de corriente y los aparatos conectados a los sistemas.

4.- Frecuencia nominal:

La frecuencia de la red en Hertz.

5.- Nivel nominal de aislamiento:

Tomar el valor nominal más próximo al de la tensión más elevada del sistema. Se puede tomar un nivel de aislamiento superior cuando las condiciones de la instalación lo requieran, por ejemplo: climas salinos, marinos o altitudes de operación superiores a 1000 mts., sobre el nivel del mar.

6.- Clase y potencia de precisión:

La selección de la clase de precisión depende igualmente de la utilización a que se destinen los transformadores y los aparatos que van a ser conectados a ellos, deberán presentar una similitud de exactitud.

Para las mediciones industriales y puramente inductivas de ampérmetros, -- las clases 1, 1.2, 3 y 5 son siempre suficientes.

En algunos casos , la clase 0.5 ó 0.6, es utilizada cuando se trata de instrumentos más precisos.

Para las mediciones de energía, las clases 0.2, 0.3, 0.5 y 0.6, son las más comúnmente utilizadas; se emplea la clase 0.2 y 0.3 en los casos de instalaciones de gran potencia, donde dicha clase se justifica.

Para calibración y medidas en el laboratorio se utiliza la clase 0.1

Para transformadores de corriente empleados en la alimentación de sistemas de protección, las clases de precisión 5 y 10, son utilizadas con valores definidos de factores de sobrecarga.

La potencia de precisión se dará tomando la carga nominal inmediata superior a la suma de las cargas que presentan los aparatos conectados a ese secundario, tomando en cuenta la carga que representan los conductores que unen los transformadores de corriente con los aparatos.

Cargas normalizadas para transformadores de corriente según normas ANSI C.57.13

#### Medición

$$B0.1 = 2.5 \text{ VA } \cos \emptyset = 0.9$$

$$B0.2 = 5.0 \text{ VA } \cos \emptyset = 0.9$$

$$B0.5 = 12.5 \text{ VA } \cos \emptyset = 0.9$$

$$B0.9 = 22.5 \text{ VA } \cos \emptyset = 0.9$$

$$B1.8 = 45.0 \text{ VA } \cos \emptyset = 0.9$$

## Protección

B1.0 =	25	VA cos $\emptyset$ = 0.5
B2.0 =	50	VA cos $\emptyset$ = 0.5
B4.0 =	100	VA cos $\emptyset$ = 0.5
B8.0 =	200	VA cos $\emptyset$ = 0.5

### - Clase y potencia de protección:

Depende de los VA consumidos por los relevadores conectados a 20 veces la corriente nominal. Se hace la suma de las impedancias de los relevadores y los conductores y se obtiene con ella la tensión necesaria de los bornes del secundario a 20 veces la corriente nominal, especificándose se luego el valor inmediato superior nominal.

$$V \text{ Sec.} = Z \times 20 I_n$$

$$V \text{ Sec.} < V \text{ nom.}$$

Las clases y potencias nominales que se tienen son:

Clase C - Voltaje nominal.

C-10	(0.1 ohm )	2.5 VA cos $\emptyset$ = 0.9
C-20	(0.2 ohms)	5.0 VA cos $\emptyset$ = 0.9
C-50	(0.5 ohms)	12.5 VA cos $\emptyset$ = 0.9
C-100	(1.0 ohms)	25.0 VA cos $\emptyset$ = 0.5
C-200	(2.0 ohms)	50 VA cos $\emptyset$ = 0.5
C-400	(4.0 ohms)	100 VA cos $\emptyset$ = 0.5
C-800	(8.0 ohms)	200 VA cos $\emptyset$ = 0.5

### 8.- Sobrecorriente en permanencia:

Generalmente se fija  $1.2 I_n$ , sin embargo, se puede dar otro valor si las condiciones de servicio lo hacen necesario.

### 9.- Corriente térmica de circuito corto:

La corriente térmica de circuito corto que debe soportar el transformador de corriente depende del valor máximo de corriente de circuito corto simétrico en el punto de instalación dentro del sistema además de su tiempo de duración:

$$i_t \geq I_{cc} \sqrt{T + 0.5 \times \frac{50}{f}} \quad \text{KA ef. durante un segundo.}$$

$i_t$  = Corriente térmica de circuito corto

$I_{cc}$  = Corriente de circuito corto simétrico del sistema en el punto donde estará el transformador de corriente (KA.ef.).

t = Duración de c.c. (seg.)

f = Frecuencia nominal del sistema (Hertz).

4.- Corriente dinámica de circuito corto:

Valor de cresta de la primera onda de circuito corto completamente asimétrica y tendrá como valor:

$$id \geq 1.8 \sqrt{2} I_{cc} = 2.54 \times I_{cc} \text{ KA amplitud.}$$

### 5. Códigos y normas aplicables

Notación convencional que se utiliza para designar los diferentes dispositivos eléctricos, de acuerdo con la ANSI.

26	Dispositivo de detección de temperatura.
27/47	Relevador de bajo voltaje y secuencia de fase.
49	Relevador térmico
50/51	Relevador de sobrecorriente por fases.
50 GS	Relevador instantáneo de sensibilidad a tierra.
51 G	Relevador de sobrecorriente en el neutro del transformador.
52	Interruptor de potencia.
63 P	Relevador de presión.
71	Indicador de nivel.

### APLICACION DE NORMAS

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas NITE estipula en los siguientes artículos las recomendaciones necesarias para la protección de los motores, los conductores de los circuitos derivados y de los alimentadores.

### SUBSECCION C. PROTECCION CONTRA SOBRECARGA EN EL MOTOR

Art. 403-22, Los requisitos de esta subsección C se refieren a los dispositivos de sobrecorriente destinados a proteger a los motores, a los aparatos de control de los motores y a los conductores de los circuitos derivados que los abastezcan, contra el calentamiento excesivo debido a sobrecargas en los mismos motores o fallas de arranque.

La sobrecarga en un aparato eléctrico es una sobrecorriente de operación que, cuando dura un tiempo suficiente prolongado, puede dañar o sobrecalentar peligrosamente el aparato. Esto no incluye cortos circuitos ni fallas a tierra.

#### ART. 403.23 ESTIPULA

Cada motor de servicio continuo con capacidad mayor de un caballo de potencia debe protegerse contra sobrecarga por alguno de los medios siguientes:

1) Un dispositivo de sobrecorriente separado que actúe por efecto de la corriente del motor. La capacidad o el ajuste de este dispositivo no debe ser mayor del 125% de la corriente a plena carga del motor.

En caso de que el dispositivo de sobrecorriente, seleccionado de acuerdo con el criterio anterior, resulte insuficiente para el arranque del motor o no corresponda a un tamaño normalizado, puede utilizarse el tamaño inmediato superior, siempre que no sea mayor del 140% de la corriente a plena carga del motor.

2) Un protector térmico integrado al motor, aprobado para usarse con éste, que lo proteja contra sobrecalentamientos peligrosos ocasionados por sobrecarga.

#### ART. 403.26 ESTIPULA

Quando se usan dispositivos que no sean fusibles para la protección contra sobrecarga de un motor, tales como bobinas de disparo, relevadores o dispositivos de tipo térmico, para motores trifásicos el número mínimo de unidades son dos, en dos conductores activos cualesquiera; pero el uso de tres unidades, una en cada fase, es recomendable para una protección más completa del mismo motor.

#### SUBSECCION D. PROTECCION DE CIRCUITOS DERIVADOS PARA MOTORES CONTRA CORTO-CIRCUITOS O FALLAS A TIERRA.

#### ART. 403.34

Los requisitos de esta subsección D se aplican a los dispositivos de sobrecorriente destinados a proteger a los conductores de circuitos derivados para motores, a los aparatos de control de los motores y a los propios motores contra sobrecorrientes debidas a cortocircuitos o a tierra.

ART. 403.38 ESTIPULA

El dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado para un solo motor, debe ser capaz de soportar la corriente de arranque, pero su capacidad o ajuste no debe exceder de los siguientes valores:

En el caso de fusibles sin retardo de tiempo o de interruptores automáticos del tipo de tiempo inverso, su capacidad o ajuste no debe ser mayor del 100 % de la corriente a plena carga del motor.

En el caso de interruptores automáticos del tipo de disparo instantáneo (sin retardo de tiempo), su ajuste no debe ser mayor del 1300% de la corriente a plena carga del motor.

SUBSECCION E. PROTECCION DE CIRCUITOS ALIMENTADORES QUE ABASTECEN MOTORES, CONTRA CORTOCIRCUITOS O FALLAS A TIERRA.

ART. 403.43

Los requisitos de esta subsección E se aplican a los dispositivos de sobrecorriente destinados a proteger a los conductores de circuitos alimentadores que abastecen motores, contra sobrecorrientes debidas a corto circuitos o a tierra.

ART. 403.44 ESTIPULA

a) El dispositivo de sobrecorriente de un circuito alimentador que abastezca a varios circuitos derivados, debe tener una capacidad o ajuste que no exceda de la capacidad o ajuste del dispositivo de protección contra corto circuitos o fallas a tierra del circuito derivado correspondiente al motor de mayor potencia, más la suma de las correspondientes a plena carga de los motores de los demás circuitos derivados.

Cuando en un grupo de motores haya dos o más de la misma potencia que sean los más grandes en el grupo, debe considerarse a uno sólo de ellos como el mayor para los cálculos.

Si la capacidad obtenida de acuerdo con los cálculos anteriores no corresponde a un dispositivo de sobrecorriente de capacidad normalizada, puede usarse el dispositivo de capacidad inmediata superior.

## SECCIÓN I. REQUISITOS PARA TENSIONES MAYORES DE 1000 VOLTS

403.52

requisitos de esta subsección I complementan o modifican a los demás requisitos de esta sección considerando el riesgo adicional que representa el uso de tensión mayor.

403.53 ESTIPULA

El circuito de alta tensión de cada motor debe incluir una protección coordinada para interrumpir automáticamente las sobrecorrientes producidas por sobrecarga del motor y por fallas en el mismo motor, en los conductores del circuito o en los aparatos de control.

) Cada motor debe protegerse contra calentamiento peligroso debido a sobrecargas o fallas de arranque del motor por medio de un protector térmico integrado al mismo motor o un dispositivo externo de sobrecorriente, o con ambos medios.

4) El dispositivo detector de sobrecarga no debe restaurarse automáticamente después de operar, a menos que su restauración no cause automáticamente el re-arranque del motor o bien que, aunque esto ocurra, no haya peligro para las personas originado por el re-arranque automático del motor o de la máquina que tiene acoplada.

1) La protección contra corrientes de falla debe proveerse en el circuito de cada motor por alguno de los medios siguientes:

Un interruptor automático del tipo y capacidad adecuados, arreglado de manera que se le pueda dar mantenimiento sin peligro.

Este interruptor automático debe desconectar simultáneamente todos los conductores activos. Para detectar la corriente de falla, pueden usarse elementos detectores integrados en el propio interruptor automático o elementos externos al mismo.

Fusibles de tipo y capacidad adecuados intercalados en cada conductor activo. Estos fusibles deben contar con un medio de desconexión. Los fusibles deben estar arreglados de manera que no se les pueda dar mantenimiento estando energizados.

1) El dispositivo que se usa para interrumpir la corriente de falla no debe restaurar el circuito automáticamente.

2) La protección contra sobre carga y la protección contra fallas pueden proveerse con el mismo dispositivo.

Cuando como referencia al NEC en los artículos 230-208 (d) (1), (2) y (3) y 450-3 (a). Ya que no menciona nada el NITE con respecto a lo siguiente:

ART. 230-208 (d) ESTIPULA

Los interruptores automáticos que funcionan con relevadores de sobrecorriente. Estos relevadores estarán conectados a transformadores de corriente en cada una de las fases conforme a las siguientes combinaciones:

1) Tres relevadores de sobrecorriente operados por la corriente de los TC en cada fase.

2) Dos relevadores de sobrecorriente operados con la corriente de los TC conectados en dos de las fases y un relevador de sobrecorriente sensitivo a las corrientes de falla a tierra que es operado con la suma resultante de las corrientes de los TC en cada fase.

3) Dos relevadores de sobrecorriente operados con la corriente de los TC conectados a dos de las fases y un relevador de sobrecorriente sensitivo a las corrientes de falla a tierra que es operado desde un transformador de corriente, el cual enlaza a los tres conductores de las fases y el conductor del circuito a tierra (neutro), si lo tiene.

ART. 450-3 (a) ESTIPULA

1) En el primario, cada transformador arriba de 600 volts nominales, se debe proteger con un dispositivo individual de sobrecorriente en el lado primario. Cuando se usen fusibles, el rango de corriente continua no excederá del 250% de la corriente primaria del transformador. Ni menor al 125%.

Excepción No. 1 - Si el 250% de la corriente primaria nominal del transformador no corresponde a un valor normalizado del fusible, puede utilizarse el tamaño inmediato superior.

## APLICACION DE LA NORMA ANSI

estipula que los transformadores deben soportar sin daño, corrientes de falla - durante cierto tiempo. Por lo cual debe calcularse de la siguiente tabla:

Impedancia %	Veces la Inom. No.	Tiempo Seg.
4 ó menos	25	2
5	20	3
6	16.6	4
7 ó más	100 /Z%	5

Además, la corriente de magnetización de un transformador puede considerarse - equivalente de 8 a 12 veces la corriente nominal durante 0.1 segundo.

Si el fabricante no tiene el valor preciso, úsese el valor mayor.

## RECOMENDACIONES PARA LA COORDINACION DE LAS PROTECCIONES

### 4.1 Zonas de protección y estudio a la instalación eléctrica de la planta

La zona protegida es aquella parte del sistema eléctrico de potencia resguardada por una cierta protección y por lo general contiene uno, o como máximo dos elementos del sistema.

Las zonas se disponen de manera que se traslapen, para que ninguna parte del sistema quede sin protección.

En caso de que el dispositivo de protección en una zona dada no opere, se necesitará contar con una protección de respaldo que funcione cuando la protección primaria falle. Los dispositivos de protección deben tener selectividad absoluta en su zona y selectividad relativa las protecciones de respaldo.

La selectividad es la propiedad por medio de la cual sólo se aísla el elemento del sistema que se encuentra en condición de falla, quedando intactas las restantes secciones en buen estado.

La selectividad es absoluta si la protección responde sólo a las fallas que ocurren dentro de su propia zona y relativa si se obtiene graduando los ajustes de las protecciones de las diversas zonas que puedan responder a una falla dada.

La figura 4.1 muestra la disposición de las zonas de protección en el sistema eléctrico de la planta. Se notará que es posible aislar cualquier parte del sistema en el cual se encuentre una falla haciendo que operen uno o más interruptores.

La selección y calibración adecuada de los dispositivos de protección contra corto circuitos puede lograr una coordinación de tal forma que dé seguridad y continuidad en el servicio.

### 4.2 Coordinación de las protecciones del sistema

Para la coordinación de las protecciones se recomienda seguir la siguiente metodología:

- 1.- Elaborar un diagrama unifilar, anotando las características de los equipos principales, tales como: transformadores, alimentadores, motores, reactores, -

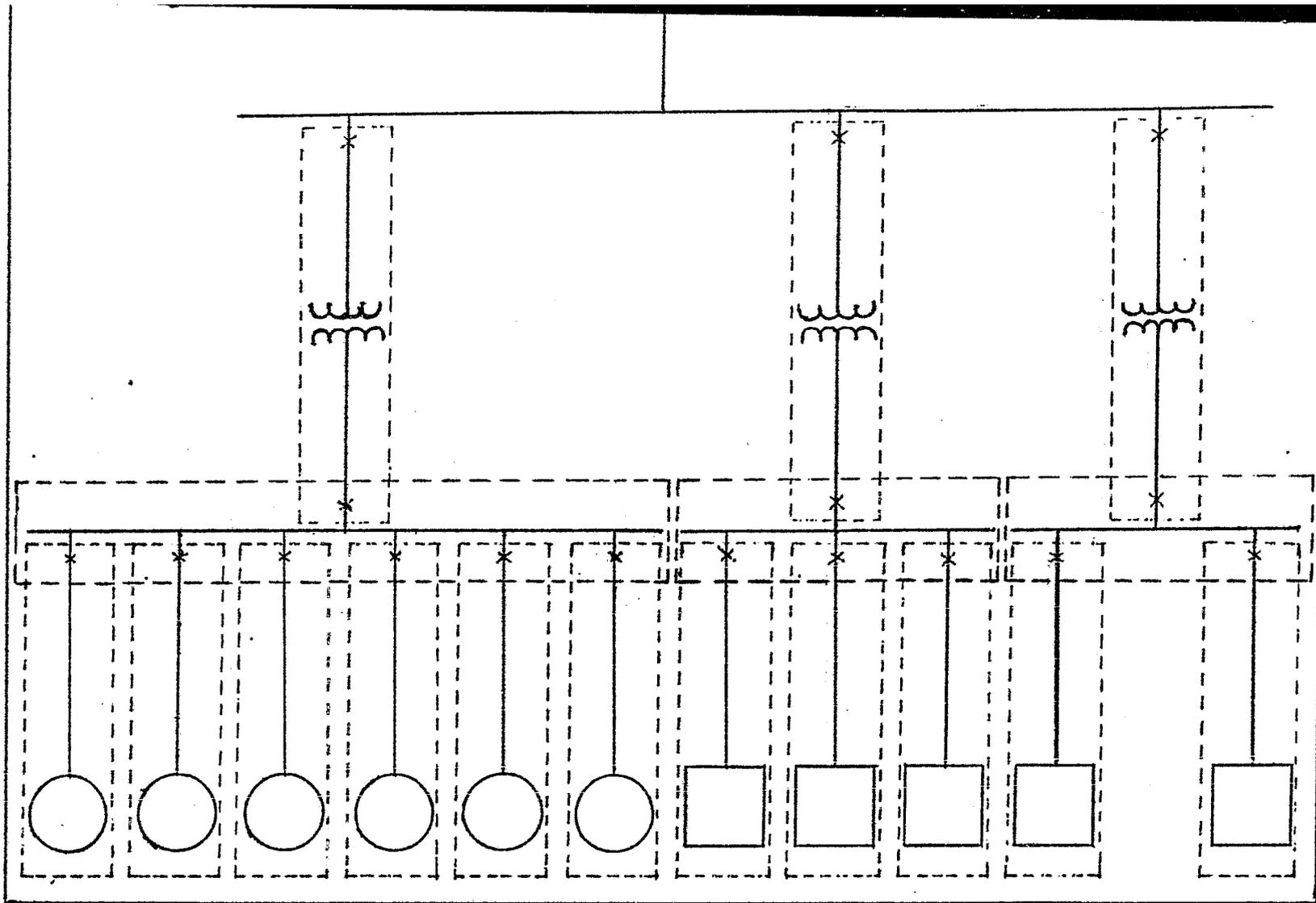


Fig. 4.1 Zonas de protección.

co., y el equipo auxiliar existente como: relevadores, interruptores, fusibles, transformadores de corriente, etc.

4.- Elaborar un diagrama de impedancias e indicar las componentes que contribuyen al aumento de la corriente de corto circuito.

5.- Elaborar un estudio de corto circuito para determinar las corrientes de falla máxima, en las diferentes zonas de protección.

6.- Calcular las corrientes de carga máxima normal y de puesta en marcha bajo condiciones de operación en cada uno de los ramales del sistema.

7.- Elaborar una gráfica tiempo-corriente sobre papel log-log en donde se referirán todas las corrientes a una base común de voltaje, se puede utilizar además un factor de multiplicación si se considera necesario.

8.- Trasar la curva tiempo-corriente de las corrientes nominal y de arranque de motores grandes o grupo de motores, además de indicar la secuencia obligada de arranque o bien el grupo de motores que funcionan previamente al arranque de uno o más motores grandes.

9.- Anotar la escala de derivaciones de cada uno de los relevadores de sobrecorriente en la gráfica de coordinación según la relación del transformador de corriente.

10.- Indicar sobre el eje de corrientes en la gráfica los valores de corto circuito simétrico y asimétrico de los diferentes buses.

11.- Anotar en la gráfica las recomendaciones que se estipulan para la protección de transformadores de potencia.

a) El dispositivo primario de sobrecorriente de un transformador sin interruptor principal secundario debe ser ajustado para operar con un valor de corriente no mayor de 2.5 ni menor de 1.25 veces la corriente nominal del transformador.

b) Además se permite el uso de un dispositivo primario calibrado para operar a un valor de corriente no mayor de 6 veces la corriente nominal del transformador, para los que tienen una impedancia del 6% o menos y no mayor de 4 ve-

es para transformadores que tienen más de 6% y menos del 10% de impedancia cuando éste tiene interruptor secundario debidamente ajustado para una sobrecarga de 1.25 a 2.5 veces la corriente.

9) Los transformadores deben soportar sin daño corrientes de falla durante un cierto tiempo.

En la gráfica tiempo-corriente se marcará el punto que se requiere, y se calculará de la siguiente tabla:

<u>Impedancia %</u>	<u>No. veces Inom.</u>	<u>Tiempo Seg.</u>
4 o menos	25	2
5	20	3
6	16.6	4
7 o más	100/Z%	5

10) La corriente de magnetización de un transformador puede considerarse equivalente de 8 a 12 veces la corriente nominal del transformador durante 0.1 segundos.

Si el fabricante no tiene el valor preciso, úsese el valor mayor.

10.- El desarrollo de la coordinación se prosigue por el método de ensayos progresivos a partir de las curvas tiempo-corriente de los distintos dispositivos de protección colocados en serie, comparándose por transparencias unas con otras.

Las comparaciones deben tomar en cuenta las limitaciones impuestas por los dispositivos de protección, también las provenientes de la corriente nominal y máxima de las cargas, la corriente de corto circuito, la corriente de arranque de los motores y las recomendaciones del punto (9).

Los dispositivos de protección deben operar dentro de estos límites y al mismo tiempo proporcionar coordinación selectiva con otros dispositivos de protección anterior y posterior en el ramal.

Preferentemente hay que realizar un estudio de coordinación para cada ramal que alimenta un C.C.M. (Centro de Control de Motores) o a un motor grande.

Trazar el diagrama unifilar del ramal que corresponde, a un lado de las curvas en esta gráfica para observar la correspondencia de dispositivos en forma inmediata y cortar cada curva o banda hasta la capacidad disponible de falla en el

ramal.

La coordinación selectiva generalmente se obtiene cuando las curvas dejan un espacio franco entre ellas o sea no deben existir zonas de superposición en la coordinación selectiva; con excepción de los relevadores y de ciertas aplicaciones de fusibles.

La recomendación mínima para interruptores de 8 ciclos de apertura es dejar un margen de 0.4 segundos; entre relevador y relevador de sobrecorriente el margen está entre 0.3 a 0.4 segundos; entre relevador y fusibles el margen está entre 0.2 a 0.4 segundos.

11.- Seleccionar los dispositivos de protección con una gama apropiada de ajuste para corresponder a las necesidades actuales y futuras del sistema.

12.- Indicar el ajuste que se necesita para asegurar una calibración de los dispositivos de protección en la fábrica del proveedor ya que el ajuste en el campo puede ser inconveniente.

#### 4.3 Aplicación en el sistema

##### Coordinación de los dispositivos de protección en el Ramal (1)

1.- Cálculo del punto ANSI. La norma ANSI estipula que los transformadores deben soportar sin daño corrientes de falla durante cierto tiempo. Aplicando la siguiente ecuación donde:  $N = 100/Z\%$ , para una impedancia de 6.5% del transformador de 3750 KVA., obtenemos el número de veces de la corriente nominal, que debe soportar el transformador sin daño alguno y de la tabla siguiente interpolamos para encontrar el tiempo en segundos.

<u>Impedancia %</u>	<u>No. Veces Inom.</u>	<u>Tiempo Seg.</u>
6	16.6	4
6.5	15.38	4.5
7	14.28	5

En transformadores Delta-Estrella, al ocurrir una falla de fase a tierra en el lado secundario del transformador se produce una corriente de falla del

00%; pero en lado primario del transformador se tendrá (1/3) ó 58% de la corriente de falla, por lo tanto el punto ANSI queda afectado por este factor. El punto ANSI en la gráfica tiempo-corriente se referirá a una base voltaje - 4160 volts.

$$I_n = \frac{3750 \text{ KVA}}{1.73 \times 4.16 \text{ KV}} = 521 \text{ Amp.}$$

Punto ANSI = 15.38 x 521 x 0.58 = 4648 Amp. a 4.5 seg.

- Cálculo de la corriente de magnetización.

La corriente de magnetización la consideramos con valor de 8 veces durante 0.1 seg.

Imag. = 8x521 = 4168 Amp. a 0.1 seg.

- Cálculo de la corriente de carga máxima normal y de puesta en marcha bajo condiciones de operación.

Se tiene la siguiente carga de motores, con f.p. = 0.85 y

$$I_m = \frac{\text{KW}}{\sqrt{3} \times \text{KV} \times \text{f.p.}}$$

Motor No.	Potencia H.P.	Potencia KW	Voltaje KV	Im Amp.
1	800	640	4.16	105.62
2	700	560	4.16	91.54
3	400	320	4.16	52.31
4	600	480	4.16	78.46
5	600	480	4.16	78.46
6	300	240	4.16	39.23
	<u>3 400</u>	<u>2 720</u>		<u>444.64</u>

I Ramal (1) = 444.64 Amp.

La corriente nominal del motor de mayor capacidad es de 800 HP., 4.16 KV., f.p. = 0.85 y para incluir las pérdidas al cambio de energía eléctrica - mecánica, se multiplica por 0.8 para obtener KW.

$$I_m = \frac{\text{H.P.} \times 0.8}{1.73 \times \text{KV} \times \text{f.p.}} = \frac{640}{6.11728} = 104.62 \text{ Amp.}$$

$$I_m = 104.62 \text{ Amp.}$$

El valor de la corriente de arranque es aproximadamente 6 veces la corriente del motor a plena carga.

$$I_{arr.} = 6 \times I_m = 6 \times 104.62 = 627.72 \text{ Amp.}$$

$$I_{arr.} = 627.72 \text{ Amp.}$$

Teniendo en cuenta que la duración de la corriente de arranque es aproximadamente de 8 segundos.

4.- En la gráfica se indica sobre el eje de corrientes los valores de:

IOA del transformador	=	521.0 Amp.
2.5 IOA del transformador	=	1 302.5 Amp.
4.0 IOA del transformador	=	2 084.0 Amp.
6.0 IOA del transformador	=	3 126.0 Amp.

$$I_{cc.sím.} \text{ en el Bus (1)} = 9 329 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc.asím.} \text{ en el Bus (1)} = 14 927 \text{ Amp.}$$

5.- Para proteger el motor de 800 H.P. contra la corriente de sobrecarga se utiliza un relevador tipo AR.44 - AR40 Square'D Curva (1) en la gráfica de coordinación.

Aplicando el art. 403-23 NITE que estipula: Los relevadores de sobrecarga no deben calcularse a un valor mayor del 125%.

Se calcula para un valor del 115% de la corriente nominal a plena carga y a un tiempo de 1000 seg., para permitir el paso de la corriente de arranque del motor durante el lapso de tiempo que necesita para su operación.

$$I_{oL} = 1.15 \times 104.62 = \underline{120.313 \text{ Amp. a 1000 seg.}}$$

Para la selección de la relación de vueltas del transformador de corriente en el primario será el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación, que en nuestro caso es el de 150/5 y potencia de 75 VA (3 ohms).

la selección de la clase de precisión depende de la utilización del transformador y los aparatos que van a ser conectados a ellos. Las cargas que se tienen son las siguientes:

<u>Cantidad</u>	<u>Dispositivos</u>	<u>Potencia VA</u>	<u>Impedancia ohms</u>
2	Ampérmetro	4.30	0.172
1	Selector Amp.	12.80	0.512
3	Relevador de sobrecarga.	39.00	1.560
123 mts.	Conductor # 12	<u>23.45</u>	<u>0.938</u>
		79.55	3.182

la relación de vueltas del transformador de corriente más apropiado es el de 100/5 con potencia nominal de 100 VA (4 ohms).

con precisión clase 1.

6.- Para proteger el alimentador derivado y al motor de 800 H.P., contra fallas de corto circuito, se utilizan fusibles tipo EJ-2 Westinghouse. Curva (2) en la gráfica de coordinación.

Se conoce la corriente nominal del motor y su corriente de arranque siendo:

$$I_m = 104.62 \text{ Amp.}$$

$$I_{rb} = 627.72 \text{ Amp.}$$

Utilizando los datos de  $I_m$  y  $I_{rb}$  se va a la gráfica 4.3.1. donde se tiene la corriente a plena carga y a rotor bloqueado (expresada en % de la corriente nominal), en el cruce de la abscisa y la ordenada se llega al fusible 9 R de amperes nominales con capacidad interruptiva de 1 600 MVA., que cumple con lo que estipula el art. 403-35 (a), NITE. La capacidad de corriente nominal de los fusibles para proteger el circuito derivado y al motor contra fallas de corto circuito no debe ser mayor del 400% de la corriente nominal del motor, siendo en este caso del 191%.

Las curvas del fusible son dos, una de ellas es la de fusión mínima y la otra es la de tiempo total de aclaramiento. Estas curvas se dibujan en la gráfica tiempo-corriente, para su coordinación con los demás dispositivos.

- Para proteger el Bus (1) del ramal (1), contra fallas de corto circuito, se utiliza un interruptor de alta capacidad interruptiva 251 MVA., a 4150 Volts operado por un relevador de sobrecorriente de tiempo extremadamente inverso Tipo CO-11 Westinghouse. Curva (4) en la gráfica de coordinación.

Si tenemos que la corriente en el Bus (1) es 444.64 Amp., y la I<sub>oa</sub> del transformador de 3750 KVA, es de 521 Amp., entonces la relación de transformación normalizada indicada será de 600/5 Amp.

Como la clase y potencia de protección depende de los VA consumidos por los relevadores conectados a 20 veces la corriente nominal. Se hace la suma de las impedancias de los relevadores y los conductores y se obtiene con ella la Tensión necesaria de los bornes del secundario a 20 veces la corriente nominal, especificándose luego el valor inmediato superior nominal. Para efectuar esta selección se realiza primero la coordinación.

Para tener una coordinación selectiva en las curvas de tiempo corriente del relevador se escoge la curva con Time Dial Setting o sea con ajuste del multiplicador de tiempo a (½) y con un ajuste de corriente de operación del relevador igual al 200%, se tiene ahora los siguientes Taps.:

I Bus (1)	=	444.64 Amp.
I <sub>cc. sim.</sub>	=	9 329 Amp.
I <sub>cc. asim.</sub>	=	14 927 Amp.
I <sub>cc. motrs</sub>	=	2 604 Amp.
I <sub>cc. sist.</sub>	=	6 725 Amp.

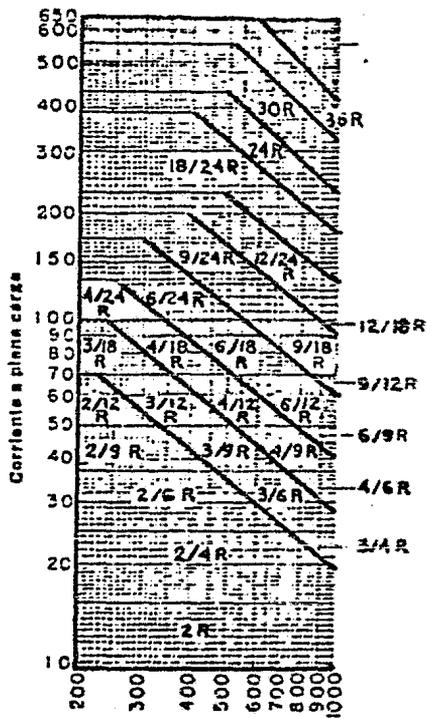
$$TAP = \frac{\text{CORRIENTE PRIMARIA}}{\text{Ajuste de corriente del relevador} \times \text{Relación TC}}$$

$$TAP = \frac{44.62}{10 \times 120} = 0.37$$

$$TAP = \frac{9\ 329}{10 \times 120} = 7.77$$

$$TAP = \frac{14\ 927}{10 \times 120} = 12.44$$

$$TAP = \frac{2\ 604}{10 \times 120} = 2.17$$



Corriente a Rotor bloqueado  
(Expresada en % de la corriente normal)

GRAFICA 4.3.1

$$K = \frac{6725}{10 \times 120} = 5.6$$

TAP es igual a 7.77 con ajuste del Time Dial Setting ( $\frac{1}{2}$ )

Las cargas que se tienen son por fase.

<u>Cantidad</u>	<u>Dispositivo</u>	<u>Potencia VA</u>	<u>Impedancia ohms</u>
1	Relevador de protección.	1360.00	0.136
10 mt.	Conductor 12	<u>521.11</u>	<u>0.052111</u>
		1881.11	0.188111

Entonces se tiene lo siguiente:

$$Z_{sec.} = Z \times 20 \text{ In}$$

$$= 0.188111 \times 100$$

$$Z_{sec.} = 18.8111 \text{ Volts.} \quad \text{y } V_s < V \text{ nom.}$$

La clase y potencia nominal es la del transformador de corriente C-20 (0.2 ohms)., 2000 VA.

Considerando la coordinación entre los fusibles 9R y el relevador de sobrecorriente CO-11, el margen de tiempo que debe existir para que operen primero los fusibles es de 0.4 segundos y se tiene como protección de respaldo la del relevador en caso de que no operen estos.

8.- Para proteger el alimentador primario y secundario y al mismo transformador de 3 750 KVA., contra fallas de corto circuito, se utiliza un desconectador de fusibles conectado en el lado primario del transformador con fusibles tipo DRVAL Driescher y Wittichann.

Curva (5) en la gráfica de coordinación.

Para determinar las características de los fusibles se utilizan los siguientes datos:

Voltaje nominal = 13.8 KV. Pcc. sim. del sist. = 300 MVA.

Corriente nominal del transformador = 157 Amp.

aplicando las recomendaciones que se estipulan para la protección de los transformadores, se tiene lo siguiente:

El dispositivo de protección debe tener una capacidad de corriente nominal entre 1.25 y 2.5 veces la  $I_{oa}$  del transformador.

El punto ANSI = 4 648 Amp. a 4.5 seg.

I magnetización= 4 168 Amp. a 0.1 seg.

La curva del fusible debe estar a la izquierda del punto ANSI y a la derecha del punto de la corriente de magnetización, para asegurar la operación o funcionamiento del transformador.

Selección de la capacidad de corriente nominal de los fusibles teniendo los siguientes valores:

	$I_{oa}$	=	127	Amp.
1.25	$I_{oa}$	=	196.25	Amp.
2.00	$I_{oa}$	=	314.00	Amp.
2.50	$I_{oa}$	=	329.50	Amp.

Analizando la familia de curvas de los fusibles se tiene que los fusibles de 125, 150, 200, 250 y 315 Amp., cumplen con el requisito del punto ANSI y I mag.

Ahora, los fusibles que cumplen con el 125%  $I_{oa}$ , que es la protección mínima requerida, se tiene los de 200, 250 y 315 Amp.; además, considerando la coordinación con el relevador de sobrecorriente tipo CO-11, el margen de tiempo que debe existir para que opere primero el relevador es de 0.4 seg., cuando ocurra una falla de corto circuito en el Bus (1), teniendo como protección de respaldo el desconector de fusibles en caso de que no opere el relevador CO-11.

El fusible indicado es el de 250 Amp., teniendo una capacidad del 159% de la  $I_{oa}$ . Otra posibilidad sería la utilización de dos fusibles de 125 Amp por fase tra-

ajando en paralelo resultando un fusible de 250 Amp. nominales y capacidad interruptiva de 300 MVA.

El art. 295-9 del NTIE, estipula que solo pueden usarse fusibles que hayan sido ensamblados en fábrica para operar en paralelo y estén aprobados para el propósito.

En este caso se escogió la utilización de dos fusibles de 125 A por fase conectados en paralelo.

3.- Para proteger el transformador de 3750 KVA., en el lado secundario contra fallas a tierra, se utiliza una resistencia conectada entre el neutro del transformador y tierra para reducir la corriente de falla y proteger el 87% de las bobinas del transformador, se usa un relevador de falla a tierra Tipo CC-2 Westinghouse.

Curva (6) en la gráfica de coordinación.

Para calcular la resistencia de aterrizaje, se escoge una corriente de ajuste para falla del primario 10% I<sub>oa</sub> del transformador.

Aplicando la siguiente ecuación se tiene:

$$(1-X) = \frac{I_s \times R}{V} \times 100$$

Donde: I<sub>s</sub> = Corriente de ajuste para falla del primario 10% I<sub>oa</sub> del transformador.

R = Resistencia de aterrizaje.

V = Voltaje de fase a tierra.

(1-X) = 13% del devanado sin proteger.

$$R = \frac{(1-X) V}{I_s \times 100} = \frac{13 \times 2404.6}{52.1 \times 100}$$

$$\underline{R = 6 \text{ ohms}}$$

La corriente de falla a tierra que circula por la resistencia es igual a:

$$I = \frac{V_n}{R} = \frac{2400}{6} = 400 \text{ Amp.}$$

$$\underline{I = 400 \text{ Amp.}}$$

Para asegurar el rápido funcionamiento del relevador CO-2 y la operación del interruptor de potencia, se escoge un transformador de corriente con relación 200/5 Amp., se ajusta el relevador con un Time Dial Setting igual a (1) ajuste de la corriente de operación igual al 10% Isn.

$$TAP = \frac{400}{0 \times 5 \times 40} = 20$$

10.- Para proteger el circuito derivado y al motor de 800 H.P., contra fallas, a tierra, se utiliza un relevador Tipo GA-375 Square'D.

Curva (3) en la gráfica de coordinación.

Se calibra a 1.5 c.p.s. y un ajuste del 25% de la Im = 104.6 A.

$$I \text{ ajuste} = 0.25 \times 104.6 = 26.15 \text{ Amp.}$$

$$I \text{ ajuste} = 26.15 \text{ Amp. a 1.5 c.p.s.}$$

#### COORDINACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN EL RAMAL (2)

1.- Cálculo del punto ANSI.

Aplicando la siguiente ecuación donde:

$$\# = 100/Z\%$$

para una impedancia de 6.75% del transformador de 1500 KVA., obtenemos el número de veces de la corriente nominal, que debe soportar el transformador sin daño alguno y de la tabla siguiente interpolamos para encontrar el tiempo en segundos.

<u>Impedancia</u> <u>%</u>	<u>No. veces</u> <u>Inom.</u>	<u>Tiempo</u> <u>Seg.</u>
6	16.6	4
6.75	14.85	4.75
7	14.28	5

El punto ANSI en la gráfica tiempo-corriente se refiere a una base de voltaje igual a 480 volts.

$$I_n = \frac{1500 \text{ KVA}}{1.73 \times 0.48 \text{ KV}}$$

$$I_n = 1806.36 \text{ Amp.}$$

$$\text{Punto ANSI} = 14.85 \times 1806.36 \times 0.58 = 15\,516.27 \text{ Amp. a } 4.75 \text{ seg.}$$

2.- Cálculo de la corriente de magnetización.

Para la corriente de magnetización la consideramos con valor de 8 veces durante 0.1 seg.

$$I_{mag.} = 8 \times 1806.36 = 14\,450.88 \text{ Amp a } 0.1 \text{ seg.}$$

3.- Cálculo de la corriente de carga máxima normal y de puesta en marcha bajo condiciones de operación.

a).- Se tienen tres Centros de Control de motores (C.C.M.) con la siguiente carga en KVA.

<u>C.C.M. No.</u>	<u>Carga KVA</u>	<u>Voltaje KV</u>	<u>Corriente Amp</u>
1	448.38	0.48	533.95
2	455.03	0.48	547.96
3	461.71	0.48	566.01
			<u>1,637.92</u>

$$I_{\text{ram. (2)}} = 1,637.92 \text{ Amp.}$$

b).- La corriente nominal del motor de 100 H.P., a 480 Volts., 3 Ø., y factor de potencia = 0.85, para incluir las pérdidas al cambio de energía eléctrica a mecánica, se multiplica por 0.8 para obtener KW.

$$I_m = \frac{\text{H.P.} \times 0.8}{1.73 \times \text{KV} \times \text{f.p.}} = \frac{100 \times 0.8}{1.73 \times 0.48 \times 0.85} = 113.34 \text{ Amp.}$$

$$I_m = 113.34 \text{ Amp.}$$

valor de la corriente de arranque es aproximadamente 6 veces la corriente del motor a plena carga.

$$I_{arr.} = 6 \times I_m = 6 \times 113.34 = 680 \text{ Amp.}$$

$$I_{arr.} = 680 \text{ Amp.}$$

teniendo en cuenta que la duración de la corriente de arranque es aproximadamente de 8 segundos.

.- En la gráfica se indica sobre el eje de corrientes los valores de:

$$I_{oa} \text{ del transformador} = 1806 \text{ Amp.}$$

$$2.5 \text{ } I_{oa} \text{ del transformador} = 4515 \text{ Amp.}$$

$$4.0 \text{ } I_{oa} \text{ del transformador} = 7224 \text{ Amp.}$$

$$6.0 \text{ } I_{oa} \text{ del transformador} = 10836 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ sim.}} \text{ en el Bus (2)} = 23 \ 403 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ asim.}} \text{ en el Bus (2)} = 29 \ 253 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ sim.}} \text{ en el C.C.M. (3)} = 20 \ 743 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ asim.}} \text{ en el C.C.M. (3)} = 25 \ 929 \text{ Amp.}$$

5.- Para proteger el alimentador derivado y al motor, contra fallas de corto circuito se utiliza un interruptor Termomagnético de operación instantánea Tipo LA Square'D. Curva (1) en la gráfica de coordinación.

Aplicando el Art. 403 - 35. (c) del NTIE que dice:

El ajuste del interruptor para tener la protección contra fallas de corto circuito, no debe ser mayor del 1300% de la corriente a plena carga del motor.

$$I_{int.} = 2 \times 113.34 = 226.68 \text{ Amp.}$$

Se escoge un interruptor de 225 Amp. a 480 Volts.

6.- Para proteger el alimentador y el C.C.M. (3), contra fallas de corto circuito y a tierra, se utiliza un interruptor electromagnético Tipo DS Westinghouse . Curva (2) en la gráfica de coordinación.

Para determinar las características del interruptor DS a utilizar se escoge conforme a los siguientes datos:

Voltaje nominal = 480 Volts.

Corriente nominal del C.C.M. (3) = 461.71 Amp.

Icc.sim. en C.C.M. (3) = 20 743 Amp.

De la página 8 del catálogo BD-414/000 IEM se tiene:

<u>Voltaje Volt.</u>	<u>Tipo de Int.</u>	<u>Rango de corriente de disparo</u>	<u>Capacidad Interruptiva simétrica Amp.</u>
241	DS -416	50 - 1600	50 000
a			
480	DS -420	1000 - 2000	50 000

El interruptor apropiado es el DS - 416 con un sensor de 600 Amp. ajustado:

- 1.- Tiempo diferido largo (en múltiplos del rango del sensor) = 1  
Tiempo diferido largo (en segundo) = 20
- 2.- Tiempo diferido corto (en múltiplos del rango del sensor) = 4  
Tiempo diferido corto (en segundos)= 0.18
- 3.- Disparo instantáneo (en múltiplos del rango del sensor) = 10
- 4.- Protección contra fallas a tierra (en múltiplos del rango del sensor)=0.2

7.- Para la protección del Bus (2), contra fallas de corto circuito y a tierra, se utiliza un interruptor electromagnético Tipo DS.

Curva (3) en la gráfica de coordinación.

Para determinar las características del interruptor DS a utilizar, se escoge conforme a los siguientes datos:

Voltaje nominal = 480 Volts.

Corriente nominal en el Bus (2) = 1 638 Amp.

Icc.sim. en el Bus (2) = 23 403 Amp.

El interruptor apropiado es el DS-420 con un sensor de 2000 Amp. ajustado a:

- Tiempo diferido largo (en múltiplos del rango del sensor) = 0.9  
Tiempo diferido largo (en segundos) = 8
- Tiempo diferido corto (en múltiplos del rango del sensor) = 4  
Tiempo diferido corto (en segundos) = 0.5
- Disparo instantáneo (en múltiplos del rango del sensor) = 10
- 1.- Protección contra fallas a tierra (en múltiplos del rango del sensor) = 0.2  
Disparo de fallas a tierra (en segundos) = 0.21
- 8.- Para proteger el alimentador primario y secundario y al mismo transformador de 1500 KVA., contra vallas de corto circuito, se utiliza un desconectador de fusibles conectado en el lado primario del transformador con fusibles Tipo DRVAL Driescher y Wittjohann.  
Curva (4) en la gráfica de coordinación.

Para determinar las características de los fusibles se utilizan los siguientes - datos:

Voltaje nominal = 13.8 KV.

Corriente nominal del transformador = 62.75 Amp.

Pcc. sim. en el sistema = 300 MVA.

Y aplicando las recomendaciones que se estipulan para la protección de los transformadores se tiene lo siguiente:

El dispositivo de protección debe tener una capacidad de corriente nominal entre 1.25 y 2.5 veces la  $I_{oa}$  del transformador.

El punto ANSI = 15 516.27 Amp. a 4.75 seg.

I magnetización = 14 450.88 a 0.1 seg.

La curva del fusible debe estar a la izquierda del punto ANSI y a la derecha del punto de la corriente de magnetización, para asegurar la operación o funcionamiento del transformador.

Selección de la corriente nominal de los fusibles teniendo los siguiente valores:

$I_{oa} = 62.75 \text{ Amp.}$

$1.25I_{oa} = 78.44 \text{ Amp.}$

$2.00I_{oa} = 125.50 \text{ Amp.}$

$2.50I_{oa} = 156.87 \text{ Amp.}$

Analizando la familia de curvas de los fusibles se tiene que los fusibles de 100, 125 y 160 Amp., cumplen con el requisito del punto ANSI, I mag., y con el 125% Ioa que es la protección mínima requerida. El fusible indicado es el de 125 Amp., con una capacidad interruptiva de 1600 MVA.

COORDINACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN EL RAMAL (3)

1.- Cálculo del punto ANSI., y de la corriente de magnetización.

Punto ANSI = 15 516.27 Amp. a 4.75 seg.

I magnetización = 14 450.88 Amp. a 0.1 seg.

Debido a que este transformador tiene las mismas características que el anterior siendo estas: 1500 KVA., Z = 6.75%, 13.8 - 0.48/277 KV.

3.- Cálculo de la corriente de carga máxima normal y de puesta en marcha bajo condiciones de operación.

a) Se tienen dos centros de control de motores (C.C.M.) con la siguiente carga en KVA.

C.C.M. No.	Carga KVA	Voltaje KV	Corriente Amp.
4	693.48	0.48	835.11
5	716.69	0.48	863.06
			<u>1698.17</u>

I RAMAL (3) = 1698.17 Amp.

b) La corriente nominal del motor de 200 H.P., a 480 Volts, 3 Ø., y f.p. =0.85 para incluir las pérdidas al cambio de energía eléctrica a mecánica, se multiplica por 0.8 para obtener KW.

$$I_m = \frac{H.P. \times 0.8}{1.73 \times KV \times f.p.} = \frac{200 \times 0.8}{1.73 \times 0.48 \times 0.85}$$

I<sub>m</sub> = 226.70 Amp.

El valor de la corriente de arranque es aproximadamente 6 veces la corriente del motor a plena carga.

$$I_{arr.} = 6 \times I_m = 6 \times 226.7 = 1\,360.2 \text{ Amp.}$$

teniendo en cuenta que la duración de la corriente de arranque es aproximadamente de 8 segundos.

4.- En la gráfica se indica sobre el eje de corriente los valores de:

$$I_{oa} \text{ del transformador} = 1\,806 \text{ Amp.}$$

$$2.5 \text{ } I_{oa} \text{ del transformador} = 4\,515 \text{ Amp.}$$

$$4.0 \text{ } I_{oa} \text{ del transformador} = 7\,224 \text{ Amp.}$$

$$6.0 \text{ } I_{oa} \text{ del transformador} = 10\,836 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ sim.}} \text{ en el Bus (3)} = 23\,560 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ asim.}} \text{ en el Bus (3)} = 29\,450 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ sim.}} \text{ en el C.C.M. (3)} = 21\,780 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ asim.}} \text{ en el C.C.M. (3)} = 27\,225 \text{ Amp.}$$

5.- Para proteger el alimentador derivado y al motor, contra fallas de corto circuito se utiliza un interruptor termomagnético de operación instantánea Tipo LA Square'D. Curva (1) en la gráfica de coordinación.

Aplicando el Art. 403-35 (c) del NTIE que dice:

El ajuste del interruptor para tener la protección contra fallas de corto circuito, no debe ser mayor del 1300 % de la corriente a plena carga del motor.

$$I_{int.} = 1.76 \times 226.7 = 400 \text{ Amp.}$$

Se escoge un interruptor de 400 Amp. a 480 Volts.

6.- Para proteger el alimentador y el C.C.M.(5), contra fallas de corto circuito y a tierra, se utiliza un interruptor electromagnético tipo DS Westinghouse Curva (2) en la gráfica de coordinación.

Para determinar las características del interruptor DS a utilizar se escoge conforme a los siguientes datos:

$$\text{Voltaje nominal} = 480 \text{ Volts.}$$

$$\text{Corriente nominal del C.C.M. (5)} = 863 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc. \text{ sim.}} \text{ en C.C.M. (5)} = 21\,780 \text{ Amp.}$$

Del catálogo BD 414/000 IEM se tiene que el interruptor apropiado es el DS-416 con un sensor de 1000 Amp., ajustado:

- Tiempo diferido largo (en múltiplos del rango del sensor) = 1  
Tiempo diferido largo (en segundos) = 20
- Tiempo diferido corto (en múltiplos del rango del sensor) = 5  
Tiempo diferido corto (en segundos) = 0.18
- Disparo instantáneo (en múltiplos del rango del sensor) = 10
- Protección contra fallas a tierra (en múltiplos del rango del sensor)=0.2  
Disparo de fallas a tierra (en segundos) 0.21

7.- Para proteger el Bus (3), contra fallas de corto circuito y a tierra, se utiliza un interruptor electromagnético tipo DS.  
Curva (3) en la gráfica de coordinación.

Para determinar las características del interruptor DS a utilizar, se escoge conforme a los siguientes datos:

Voltaje nominal = 480 Volts.

Corriente nominal en el Bus (3) = 1698 Amp.

Icc.sim., en el Bus (3) = 23 560 Amp.

El interruptor apropiado es el DS-420 con un sensor de 2000 Amp. ajustado a:

- a.- Tiempo diferido largo (en múltiplos del rango del sensor) = 1  
Tiempo diferido largo (en segundos) = 16
- b.- Tiempo diferido corto (en múltiplos del rango del sensor) = 4  
Tiempo diferido corto (en segundos) = 0.5
- c.- Disparo instantáneo (en múltiplos del rango del sensor) = 10
- d.- Protección contra fallas a tierra (en múltiplos del rango del sensor)=0.2  
Disparo de fallas a tierra (en segundos) = 0.21

8.- Para proteger el alimentador primario y secundario y al mismo transformador de 1500 KVA., contra fallas de corto circuito, se utiliza un desconectador de fusibles conectado en el lado primario del transformador con fusibles Tipo DRVAL Driescher y Wittjohann.  
Curva (4) en la gráfica de coordinación.

El fusible indicado es el de 125 Amp., con una capacidad interruptiva de -  
1600 MVA.

Debido a que este transformador tiene las mismas características que el anterior siendo estas: 1 500 KVA.,  $Z = 6.75\%$ , 13.8 - 0.480/ 277 KV.

#### 4.4 Consideraciones económicas

El escoger la protección por fusibles en el lado primario de los transformadores, se debe a las ventajas que tienen éstos con respecto a los interruptores; como la capacidad interruptiva que es mayor, son menos costosos y son más fáciles de coordinar debido a sus características de fusión y despeje de la falla que son más uniformes.

Al proteger en el lado secundario de los transformadores con interruptores se debe a que pueden proteger los alimentadores en una forma más completa contra fallas de corto circuito y a tierra, y garantizar la continuidad del servicio en las zonas sin falla con el tipo de protección selectiva y además el restablecimiento del servicio es más rápido que en el de fusibles.

Los dispositivos de disparo de los interruptores pueden ajustarse con más exactitud, de acuerdo con los requisitos de coordinación en el sistema eléctrico - de la planta.

La aplicación de relevadores térmicos en el arrancador combinado con fusibles para la protección de los motores en alta tensión hace que la protección sea más completa, ofreciendo la ventaja que representa su bajo costo y una construcción compacta.

La protección de los motores en baja tensión por interruptores termomagnéticos es porque tienen disparo por acción térmica con retardo de tiempo en sobrecorrientes moderadas y disparo instantáneo por acción magnética con valores altos de corriente de falla.

## V. CONCLUSIONES

Ante la necesidad de proteger el sistema eléctrico, en la planta industrial; - contra fallas que pueden ocasionar daños en la instalación eléctrica; al personal, y pérdidas en la producción, se recomienda hacer un estudio de coordinación de protecciones. Tomando en cuenta todos los elementos que intervienen - para asegurar la mejor selección de los dispositivos de protección, y que cumplan los requisitos técnicos y económicos.

En el estudio de coordinación se debe considerar:

- Las curvas de operación tiempo-corriente de los dispositivos de protección.
- Las características de los transformadores.
- El estudio de corto circuito en el sistema eléctrico de la planta.
- La carga total instalada.

Conociendo las características de operación tiempo-corriente de los dispositivos de protección, se podrán ajustar conforme a las necesidades que se tienen en el sistema eléctrico de la planta; debiendo tener márgenes de tiempo de operación entre un dispositivo y otro, para asegurar una protección selectiva, o sea, no tener curvas de operación traslapadas; con esto al existir una falla - no operarán simultáneamente, más de un dispositivo de protección.

Las características de los transformadores serán: la corriente nominal, el punto ANSI y la corriente de magnetización, que son los valores que se necesitan - para la protección de los mismos.

En el estudio de corto circuito, se deben considerar todos los elementos que - puedan afectar el cálculo como: la reactancia y resistencia de los diferentes elementos de la instalación eléctrica.

Este estudio es de suma importancia ya que nos sirve para seleccionar la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección y éstos, deben tener una capacidad igual o mayor a ésta.

Para obtener las gráficas de coordinación con las curvas de operación tiempo-corriente de los diferentes dispositivos que se aplicaron: es necesario seguir la metodología que se recomienda para el trazo de dichas curvas, en los tres ramales que se tienen en el sistema eléctrico de la planta.

El sistema eléctrico está dividido en zonas de protección en las cuales hay un dispositivo que protege a cada una en caso de falla, y además se tiene protección de respaldo cuando no opera el dispositivo indicado.

La protección de respaldo la efectúa el dispositivo que se encuentra conectado en serie con sentido hacia la alimentación del sistema.

En el Ramal (1) si ocurre una falla en cualquiera de los motores el dispositivo (fusibles 'R) deben operar primero, en caso de lo contrario el dispositivo (relevador CO-11) que protege al Bus (1) debe operar con un tiempo de retraso ajustado para tal propósito, si tampoco este dispositivo opera, tendría que operar el dispositivo (desconectador de fusibles 250 Amp) que protege al transformador de 3750 KVA., con un tiempo de retraso mayor.

Si la falla ocurriera en el Bus (1) el dispositivo (relevador CO-11 opera el interruptor de potencia automático) debe funcionar primero; en caso de lo contrario, el dispositivo que operaría sería el desconectador de fusibles que protege al transformador de 3750 KVA., con un tiempo de retraso.

Los dispositivos (fusibles 'R) que protegen a los motores de inducción no operarían porque la corriente de corto circuito que se genera durante aproximadamente cuatro ciclos y no llega a detectarla los dispositivos de protección.

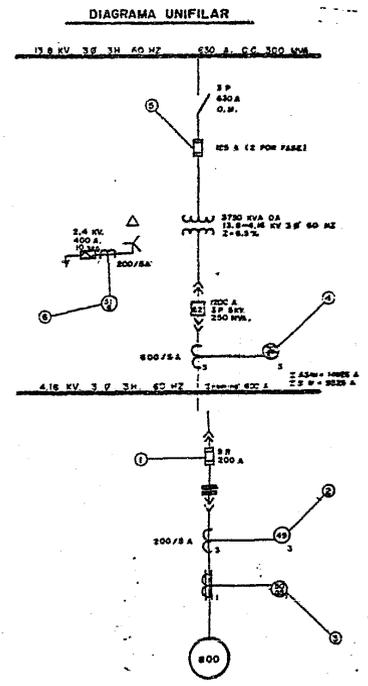
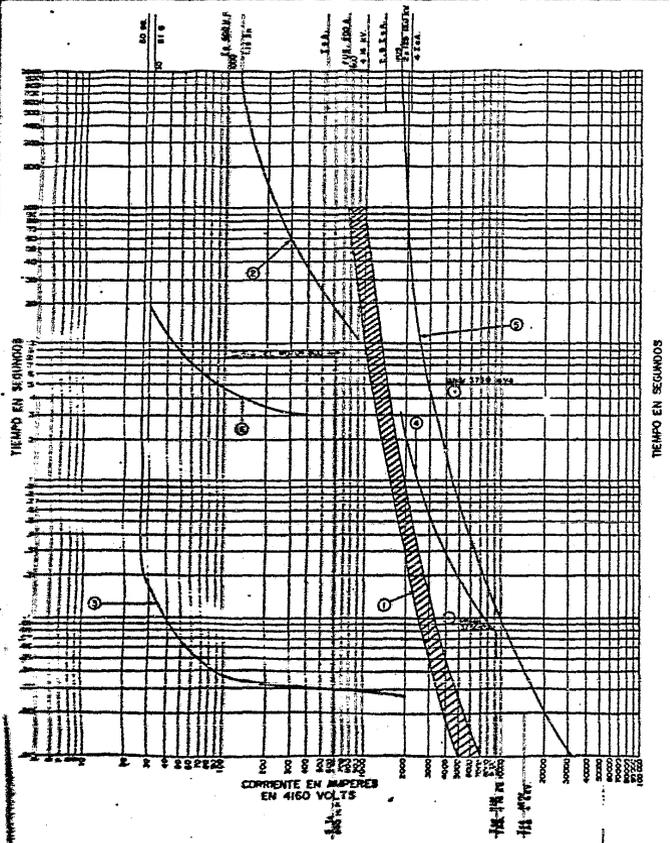
En el ramal (2) al ocurrir una falla en el motor de 100 H.P. el dispositivo que debe operar primero es el interruptor termomagnético, en caso de lo contrario debe operar el dispositivo (interruptor electromagnético DS-416) que protege al C.C.M. con un tiempo de retraso, si este dispositivo tampoco opera, el dispositivo siguiente (interruptor electromagnético DS-420) que protege al Bus (2) debe operar con un tiempo de retraso mayor, si también éste no funciona, tendría que operar el dispositivo (desconectador de fusibles 125 Amp.) que protege al transformador de 1500 KVA., con un tiempo de retraso mucho mayor.

En caso de que la falla ocurriera en el Bus (2A) debe funcionar primero el interruptor electromagnético DS-416, en caso de lo contrario debe operar el interruptor DS-420, con un tiempo de retraso y si tampoco opera el desconectador de fusibles de 125 Amp., debe operar con un tiempo de retraso mucho mayor.

En este caso no operarían los interruptores que protegen a los motores de inducción conectados al C.C.M., debido a que la corriente de corto circuito generaría una aproximadamente 4 ciclos dejando pasar dicha corriente.

Si la falla ocurriera en el Bus (2) el interruptor que debe operar primero es el interruptor DS-420 y en caso de lo contrario, debe operar el desconectador de fusibles de 135 Amp., con un tiempo de retraso, después de que ocurrió la falla.

Lo mismo pasaría en el Ramal (3), ya que es parecido al Ramal (2), en caso de que ocurrieran fallas de corto circuito.



NOTAS.  
1) EL TIEMPO DE ACELERACION DEL MOTOR ES ESTIMADO

RAMAL (1)

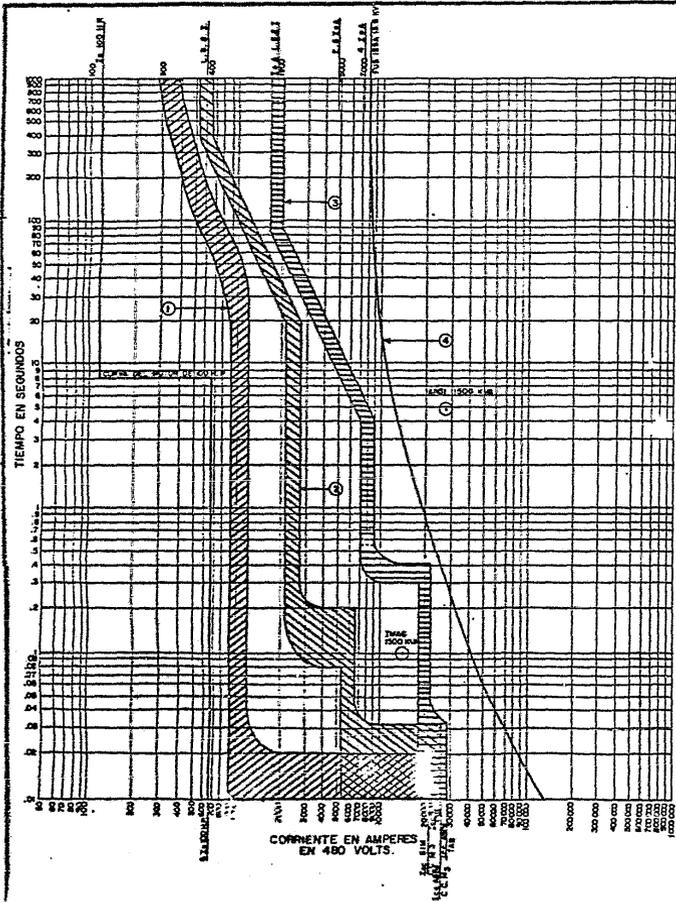
CATEGORIA	DISPOSITIVO	RELACION	SELECCIONES DE SOBRECORRIENTE				OBSERVACIONES		
			TIPO	TIEMPO		INSTANTANEO			
				RANGO	VALORES			RANGO	VALORES
4.15	49 (1)	SCUMED	200/3	SE, 3C			RELEVADOR DE FALLA A TIERRA		
4.15	50 (2)	SCUMED	600/3	CA-3FS	4.1200 A	1.5-30ms	25% In	1500 A	EXTREMADAMENTE INVERSO
4.15	51 (3)	SCUMED	200/3	CO-2	12-11	100-100 A	TAP 50	100 A	RELEVADOR DE FALLA A TIERRA

CATEGORIA	DISPOSITIVO	FUERTES		OBSERVACIONES
		CONEXION	TIP.	
4.15	FUSIBLE	200 A	EJ-2	
4.15	FUSIBLE	125 A	EJ-2	DE FUERTES DE 25 A

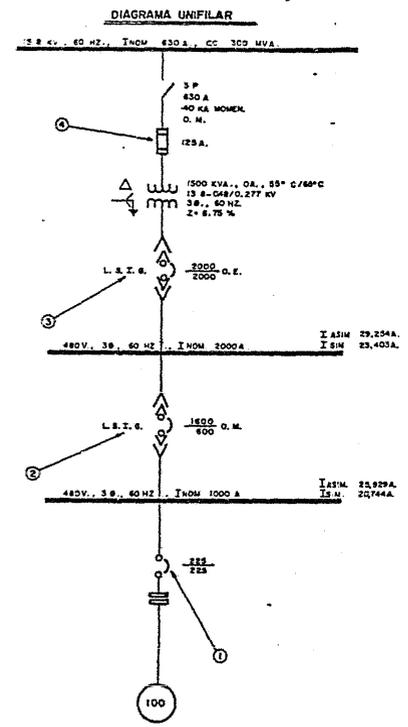
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
SEMINARIO

Tema número 47  
APLICACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS  
Y SU COORDINACION EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE FERTILIZANTES.

COORDINADOR: ING. LUIS LOPEZ ORTIZ.



TIEMPO EN SEGUNDOS



NOTAS:  
 1) EL TIEMPO DE ACCELERACION DEL MOTOR ES ESTIMADO  
 2) LOS VALORES DE CORTEO CIRCUITO EN LOS BUSES ESTAN EN BASE A 500 MVA., SIENDO UN VALOR ESTIMADO Y SUMINISTRADO POR FERTIMEX.

TENSION CIRCUITO KV	DISPOSITIVO N.º MARCA	INTERRUPTORES DE ACCION DIRECTA										OBSERVACIONES			
		RETARDO LARGO					RETARDO CORTO								
		RANGO	AJUSTE	TIEMPO	COMENTE	TIEMPO	RANGO	AJUSTE	TIEMPO	RANGO	AJUSTE				
0.480	L.S.T.E. (marca)	0.5 a 1.25	1	4 a 36	20	4 a 10	4	0.8 a 0.5	0.5	4 a 12	10	0.2	0.2	0.21 a 0.5	0.21
0.480	L.S.T.E. (marca)	0.5 a 1.25	1.5	4 a 36	4	4 a 10	4	0.8 a 0.5	0.5	4 a 12	10	0.2	0.2	0.21 a 0.5	0.21

NOTA: LOS RANGOS Y AJUSTES EN COMENTE ESTAN EN "ONES EL SENSOR" Y LOS RANGOS EN TIEMPO ESTAN EN "SEGUNDOS"

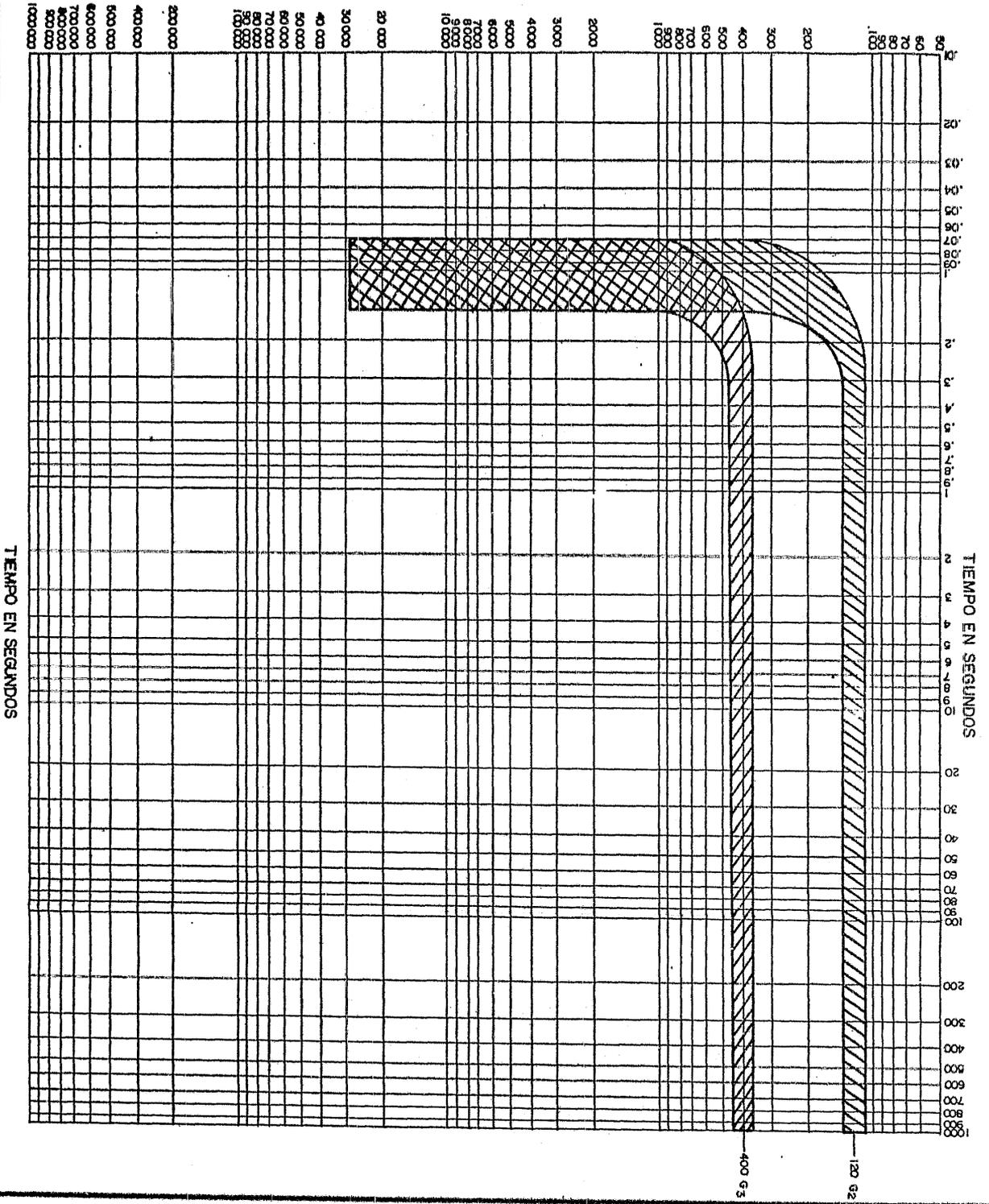
RAMAL (2)

TENSION CIRCUITO KV	DISPOSITIVO N.º MARCA	FUSIBLES		OBSERVACIONES
		CORRIENTE NOMINAL	TIPO	
12.5	FOR TELA DE BRONCE	125 A	SPRINT 271339	

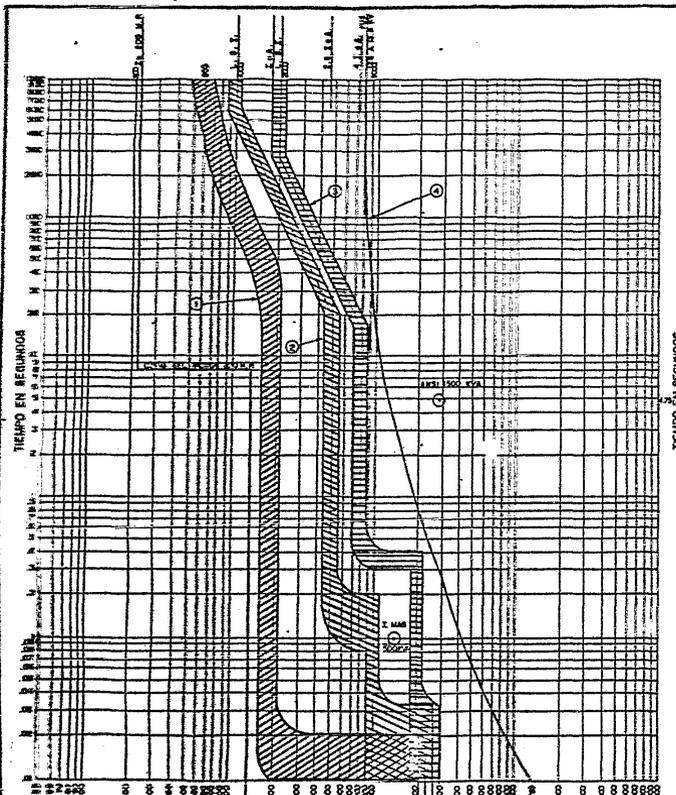
PLANO 1 DE 2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 SEMINARIO  
 Tema numero 47  
 APLICACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS  
 Y SU COORDINACION EN UNA PLANTA INDUS-  
 TRIAL DE FERTILIZANTES  
 COORDINADOR ING LUIS LOPEZ ORTIZ.

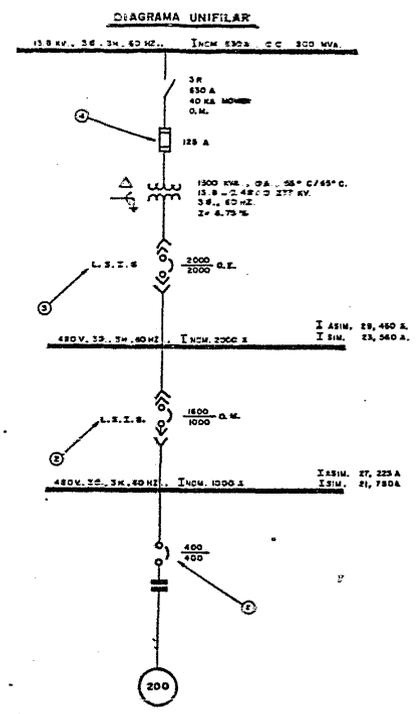
CORRIENTE EN AMPERES  
EN 480 VOLTS.



TIEMPO EN SEGUNDOS



CORRIENTE EN AMPERES EN 480 VOLTS.



NOTAS.  
1) EL TIEMPO DE ACCELERACION DEL MOTOR ES ESTIMADO

TENSION CIRCUITO (KV)	DISPOSITIVO No. MARCA	INTERRUPTORES DE ACCION DIRECTA										OBSERVACIONES					
		RETARDO LARGO					RETARDO CORTO						INSTANTANEO				
		RANGO	AJUSTE	RANGO	AJUSTE	TIEMPO	RANGO	AJUSTE	RANGO	AJUSTE	TIEMPO		RANGO	AJUSTE	RANGO	AJUSTE	TIEMPO
480	L.S.T.S. (Manning)	0.2	0.2	1	4 x 36	30	4 x 10	5	0.16 x 0.5	0.18	4 x 12	18	0.2	0.2	0.21 x 0.25	0.21	
480	L.S.T.S. (Manning)	0.2	0.2	1	4 x 36	19	4 x 10	4	0.16 x 0.5	0.5	4 x 12	10	0.2	0.2	0.21 x 0.25	0.21	

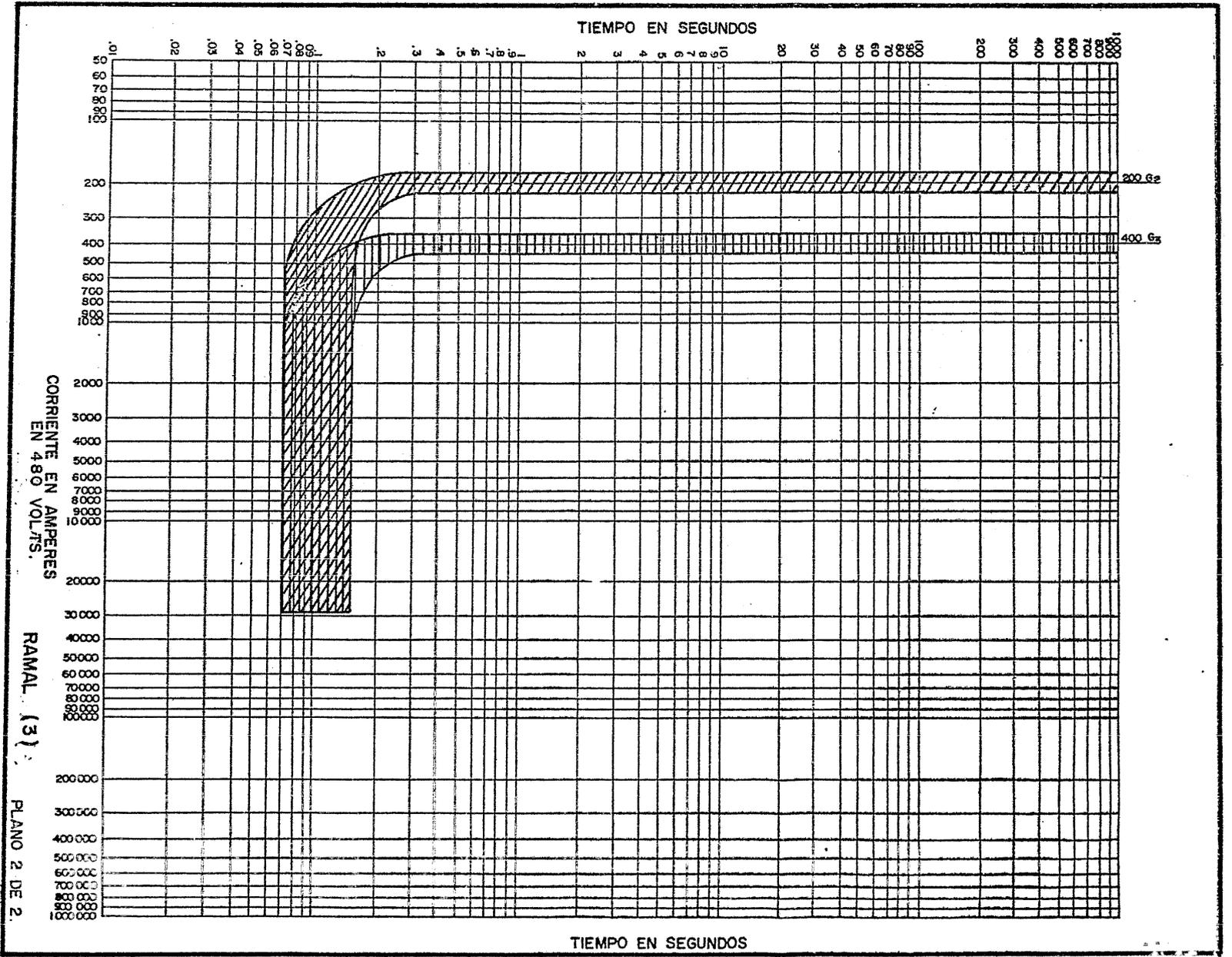
NOTA: LOS RANGOS Y AJUSTES DE CORRIENTE ESTAN EN "PICK UP SENSOR" Y LOS RANGOS EN "TIEMPO ESTAN EN "SECCIONES"

RAMAL (3)

PLANO 1 DE 2

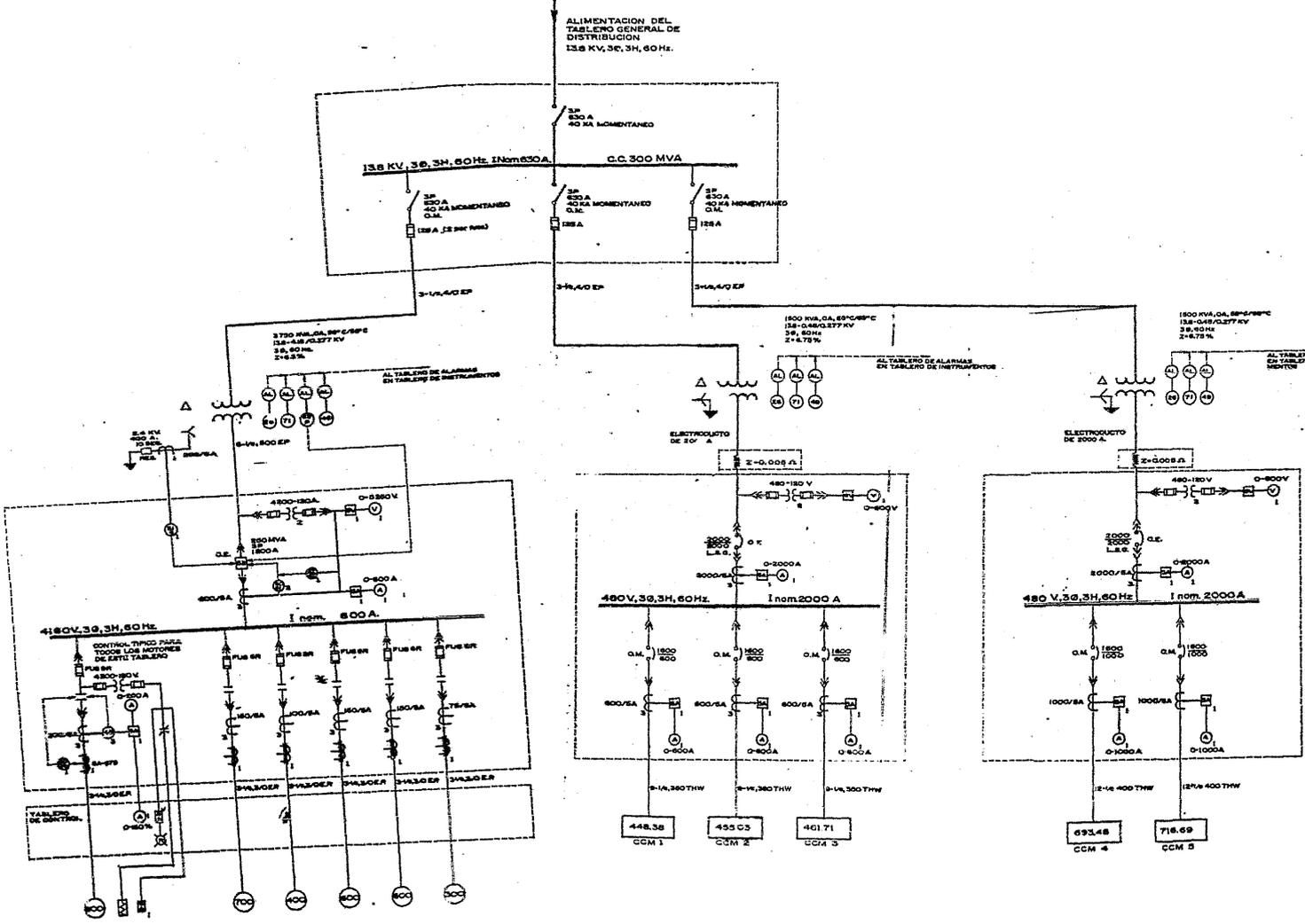
TENSION CIRCUITO (KV)	DISPOSITIVO		FUSIBLES		OBSERVACIONES
	No.	MARCA	CORRIENTE NOMINAL	TIPO	
480	3R	430 A	125 A	2.7 (13.5)	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
SEMINARIO  
Tema número 47  
APLICACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS Y SU COORDINACION EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE FERTILIZANTES  
COORDINADOR : DR. LUIS LOPEZ ORTIZ.



**SÍMBOLOS**

- ALIMENTACION
- DESCONECTOR CON CARGA (SIN FUSIBLES) OPERACION MANUAL
- DESCONECTOR CON CARGA (CON FUSIBLES) OPERACION MANUAL
- TRANSFORMADOR DE POTENCIA
- INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO C.E. OPERACION ELECTRICA C.M. OPERACION MANUAL SENSIBILIDAD A FALLAS DEL TIPO S, TIEMPO CORTO E A TIEMPA
- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
- ELEMENTO REMOVIBLE
- CONTROL DE CONTROL DE MOTORES (23 - INDICA KVA CONECTADOS)
- MOTOR ELECTRICO (23 - INDICA POTENCIA DEL MOTOR EN HP)
- RESISTENCIA CALEFACTORA
- CONEXION A TIERRA
- FUSIBLE
- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL PARA CONTROL INSTRUMENTACION Y/O SERVICIOS PROPIOS
- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA CONTROL DE INSTRUMENTACION
- SENSOR PARA RELEVADOR DE PROTECCION DE FALLAS A TIERRA
- ESTACION DE BOTONES "ARRANCAR (AUTOLUMINADO), PARAR" EN TABLERO DE CONTROL
- LEZ INDICADORA "V" - VOLTAJE
- SELECTOR DEL VOLTMETRO
- SELECTOR DEL AMPERMETRO
- VOLTMETRO
- AMPERMETRO
- RELEVADOR DE BAJA VOLTAJE Y SECCIONA DE FRENE
- RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE POR FASES
- RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE EN EL NEUTRO DEL TRANSFORMADOR
- RELEVADOR INSTANTANEO SENSIBILIDAD A TIERRA
- RELEVADOR TERMICO
- RELEVADOR DE PRESION
- INTERRUPTOR DE POTENCIA
- DISPOSITIVO DE DETECCION DE TEMPERATURA
- RELEVADOR DE NIVEL
- ALABMA EN CUARTO DE CONTROL



**DIAGRAMA UNIFILAR**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 SEMINARIO

Tema número 4-T  
 APLICACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS Y SU COORDINACION EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE FERTILIZANTES

COORDINADOR INELLIS LOPEZ ORTIZ

## VI BIBLIOGRAFIA

- 1.- Beeman, D.L. "Electric power systems", McGraw-Hill
- 2.- B. Ravindranath y M. Chander, "Protección de sistemas de potencia e interruptores", Ed. Limusa, 1981.
- 3.- Cardenas Loaeza Antonio, "Fundamentos de teoría y selección de transformadores para medición", Electrotécnica Balteau, 3er. Ed.
- 4.- Driescher y Wittjohann. "Desconectores de fusibles y fusibles de alta tensión"
- 5.- General Electric, "Limitamp Control", catálogo GET - 3039
- 6.- General Electric, "Manual of instrument transformers" operation principles and application information, catálogo GET - 97 D, superseded - GET - 97C.
- 7.- IEEE, "Recommended practice for electric power distribution for industrial plant", Std - 141, 1976 Red-Book.
- 8.- IEEE, "Recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems" Std - 242, 1975, Buff - Book.
- 9.- IEM, "Tableros blindados de baja tensión con interruptores Tipo DS", - catálogo BD - 414/050.
- 10.- National Electric Code. (NEC) Edición 1981.
- 11.- Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (NTIE), Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas, 1981.
- 12.- Square'D "Equipo eléctrico", catálogo compendia No. 17.
- 13.- Square'D "Ground fault protection system", catálogo 06 Section 1-3.

- 14.- Publication Westinghouse, "Applied protective relaying"., A new "Silent Sentinels".
- 15.- Westinghouse, "Type (Hi-Lo) overcurrent relay", catálogo I.L. 41-100F., 1980, supersedes I.L. 41 - 100E, 1980.