

33
2/2/84



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

COORDINACION DE PROTECCIONES
A UN MOTOR SINCRONO DE 2250 HP.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

FRANCISCO CUEVAS ARTEAGA

DIR. ING. LUIS LOPEZ ORTIZ



MEXICO, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

C O N T E N I D O

1.-INTRODUCCION.

2.-OBJETIVO.

3.-BREVE DESCRIPCION DE METODOS DE ARRANQUE PARA MOTORES SINCRONOS.

4.-CALCULO DE ALIMENTADORES.

5.-CALCULO DE CORRIENTES DE FALLA.

- 5.1.-Cálculo de Icc trifásica en el bus (2)B-4.16kV.
- 5.2.-Cálculo de Icc monofásica en el bus (2)B-4.16kV (Sin considerar resistencia de puesta a tierra)
- 5.3.-Selección de la resistencia de puesta a tierra del neutro del transformador.
- 5.4.-Cálculo de la Icc monofásica en el bus (2)B-4.16kV (Considerando resistencia de puesta a tierra).
- 5.5.-Cálculo de Icc entre fases en el bus (2)B-4.16kV.
- 5.6.-Cálculo de Icc trifásica en el bus (B)H-4.16kV.
- 5.7.-Flujos de corriente para un cortocircuito trifásico.
- 5.8.-Resumen de Icc para diversas fallas en el bus (2)B-4.16kV.
- 5.9.-Verificación del cálculo de la Icc trifásica y monofásica en el bus (2) B-4.16kV. Además se incluyen los cálculos de la Icc trifásica y monofásica en las terminales de los motores (sin considerar la resistencia de puesta a tierra), haciendo uso de un programa de computadora.
- 5.10.-Cálculo de la Icc trifásica en el bus (3)C-480V.
- 5.11.-Cálculo de la Icc monofásica en el bus (3)C-480V.

6.-DISPOSITIVOS DE PROTECCION

- 6.1.-Límites de la protección y algunas recomendaciones para el diseño de esquemas de protección.
- 6.2.-Arrancadores de motores en baja tensión y algunos esquemas de protección para motores.
- 6.3.-Uso del arrancador o interruptor para el arranque de motores en alta tensión.

- 6.4.-Protecciones del motor síncrono de 2250 HP.
- 6.4.a).-Combinación contactor magnético-fusibles.
- 6.4.b).-Protección por bajo-voltaje.
- 6.4.c).-relevador térmico (49).
- 6.4.d).-Relvador de desbalance de corrientes (46).
- 6.4.e).-Relvador contra sobrecorriente de fase, con característica de tiempo (51).
- 6.4.f).-Relvador de sobrecorriente por fallas a tierra con característica de operación instantánea (50B)
- 6.4.g).-Protección por pérdida de campo de excitación.

7.-PROTECCIONES Y ACCESORIOS DEL TRANSFORMADOR.

8.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS.

9.-MEMORIA DE CALCULO.

10.-COORDINACION DE PROTECCIONES.

11.-GRAFICAS, CURVAS DE OPERACION E INFORMACION DE DIVERSOS DISPOSITIVOS.

12.-CONCLUSIONES.

13.-BIBLIOGRAFIA.

1.-INTRODUCCION

La intención primaria de este trabajo es reportar una experiencia práctica del ejercicio de la ingeniería eléctrica en el área de proyectos electroindustriales, dotada de una fundamentación teórica básica, que permita al lector interesado formarse una idea más o menos completa de la secuencia de pasos a seguir y los factores más importantes a considerar en una instalación de mediana potencia, así como las razones que justifican los factores y secuencia mencionados.

Particularmente, se pretende dar una idea en términos generales, de lo que es la protección del equipo de potencia involucrado en una subestación de 5/4.25 Mvas. de capacidad. Dándose un mayor énfasis, a la utilización de relevadores y otros dispositivos de protección para motores. Se da la filosofía general y algunas de las recomendaciones para el diseño de esquemas de protección, además se da la justificación de cada uno de los relevadores y equipo de protección. Se dan esquemas de protección, generalmente aceptadas para motores.

Se incluye el cálculo de alimentadores de los motores, así como el cálculo de la corriente de corto-circuito en los buses (2)B-4.16 Kv., (3) C-480V. y en las terminales del motor de 2250 H.P.. Además se muestran las contribuciones de corriente en caso de falla en alguno de los buses anteriores.

Se seleccionan los transformadores de instrumentos, se hacen los cálculos necesarios para la calibración de los relevadores, por último se incluye la hoja de coordinación de protecciones.

Finalmente, hay que mencionar que una de las características que hacen de este un proyecto interesante es que el motor de 2250 H.P. es un motor síncrono con el cual se ayuda para que el factor de potencia se mantenga en un buen valor. Sin embargo, debido a que como se señala anteriormente se decidió hacer énfasis en la coordinación de protecciones, aspectos como el factor de potencia y el control del motor prácticamente no se tratan en este trabajo.

2.- OBJETIVO

La finalidad de esta tesis es hacer los cálculos y las consideraciones necesarias para efectuar la coordinación de protecciones al motor síncrono de las siguientes características técnicas y, necesariamente, se hará la coordinación de protecciones de la subestación eléctrica, pero poniendo un mayor énfasis en dicho motor.

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MOTOR SINCRONO.

Potencia nominal	2250 HP.--(1678.5 KW.).
Tension/frecuencia/Num. fases/	4.16KV./60HZ/3/
Corriente a plena carga	308 AMPS.
Factor de servicio	1.15
	C A R G A
Factor de potencia a tension nominal	100% 75% 50%
Eficiencia (%)	0.825 .80 0.78
	91.8 91.3 89.9
KVA a tensión nominal y plena carga	2216 KVA.
Corriente de arranque	4.5 In=1386 AMPS.
corriente a rotor bloqueado	4In =1232 AMPS.
Tiempo de arranque del motor	8.0 Seg.
Letra de código (NEMA) a rotor bloqueado	E
Arranque como "motor de inducción"	Uso de devanado de amortiguamiento en los polos del rotor.
Numero de polos	4
Velocidad síncrona	1800 RPM.
Clase de aislamiento	5KV.

Conexiones del estator	Y
Montaje	Horizontal.
Tipo de lubricación	Forzada (Lub. aceite).
Viscosidad a 50°C	4 E
Presión a la entrada del cojinete	0.3 a 0.5 Bar.

3.-BREVE DESCRIPCION DE METODOS DE ARRANQUE DE MOTORES SINCRONOS.

a).- ARRANQUE CON EL PRINCIPIO DE INDUCCION

En el motor síncrono se tiene el problema del arranque, este es porque el par de arranque en este tipo de motores es prácticamente nulo hasta que se llega a la velocidad de sincronismo. Existen una gran variedad de métodos para aproximar el motor a la velocidad de sincronismo, implicando cualquiera de ellos un incremento en la complejidad de los sistemas.

El método mas común consiste en el uso de devanados amortiguadores, que consisten esencialmente de una jaula de ardilla (devanados embebidos en la cabeza de los polos del rotor). Dichos devanados posibilitan el arranque y la posterior aceleración del motor, comportándose como un motor de inducción hasta que se aproxima a la velocidad de sincronismo. El requerimiento básico para arrancar al motor síncrono, es un contactor o interruptor de potencia similar a el requerido para arrancar un motor de inducción, pero además se necesitan controles adicionales para conectar el circuito del campo en el preciso momento.

Teóricamente la corriente de campo deberá ser aplicada cuando el motor alcance una velocidad y un ángulo específico entre el campo del rotor y el del estator, que podrían ser a un 95% de la velocidad de sincronismo y el ángulo ideal sería de 45 grados entre ambos flujos.

En aplicaciones de arranque sin carga, el criterio anterior no es muy usado y solamente se utiliza un relevador de tiempo de retardo (timer), que envía la señal de conexión del campo.

Cuando se aplica la corriente de campo en mal momento, pueden ocurrir severos transitorios además pudiera ser que el motor no entrara en sincronismo. En tales casos pueden ocurrir daños en el sistema de alimentación, en las cargas y en el propio motor.

Otro método de arranque es el siguiente: Se conecta en corto circuito el devanado de campo a travez de una resistencia de descarga durante el arranque, esto evita las excesivas tensiones en el devanado de campo y ayuda al par de arranque. Al mismo tiempo, la frecuencia de la corriente de campo, puede usarse como indicador de qué tan cerca se encuentra el rotor de la velocidad de sincronismo. En tanto la frecuencia de la corriente de campo tiende a un valor suficientemente bajo, la resistencia de descarga se desconecta y se cierra el contactor que alimenta el campo.

b).- ARRANQUE CON AYUDA DE UN MOTOR AUXILIAR .

El motor auxiliar se acopla a la flecha del motor síncrono, este acelerará el motor hasta su velocidad de sincronismo, y en ese momento se conectará la excitación.

4.- CALCULO DE ALIMENTADORES.

Se calcularán dichos alimentadores sólo por capacidad de conducción de los cables, ya que las distancias del tablero a los motores son relativamente pequeñas, así como de la acometida al transformador y por lo tanto la caída de tensión es muy pequeña.

Por otro lado, se seleccionaron cables unipolares, tipo vulcanel EP para 90°C con conductor de cobre, que tiene las siguientes características:

- muy buena resistencia a la ionización.
- excelente resistencia a la humedad.
- un bajo factor de pérdidas y muy buena flexibilidad.

Estos cables irán alojados en ductos subterráneos y la temperatura del terreno es igual a 20°C.

4.1.-CALCULO DEL ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA (LADO 13.8 KV.).

- Capacidad del transformador= 5000/6250 Kva.
- Corriente nominal (lado 13.8 KV)= 209/261 Amps.
- EL transformador esta diseñado para operar con una sobrecarga del 10%, por un tiempo de dos horas.
- Corriente de sobrecarga=1.1(261)=287.0 Amps.
- Corriente corregida por el factor de temperatura del terreno (ver tabla 1). Factor=1.03
 $I_{corregida}=287.0/1.03=278$ Amps.
- De la gráfica 20, el calibre adecuado es 4/0.

4.2.-CALCULO DE ALIMENTADORES PARA MOTORES EN 4.16KV.

- Estos cables irán alojados en ductos subterráneos y tendrán el siguiente arreslo:

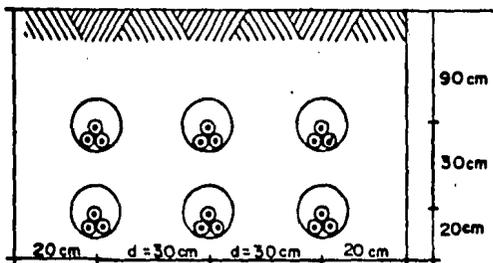


Fig. 4.1.-Arreslo de cables en el ducto

4.2.a).- PARA MOTORES DE 400 HP.

- Corriente nominal=54.0 Amps.
- Estos motores estan diseñados para operar con una sobrecarga continua del 10%.
- Corriente de sobrecarga=1.1(54.0)=59.50 Amps.
- Corriente afectada por los factores de agrupamiento (0.61) y de temperatura del terreno (1.03).
 $I_{corresida}=59.5/(0.61 \times 1.03)=95.0$ Amps.
- De la gráfica 20, el calibre adecuado es #4.

- Parámetros del cable, de la gráfica 4.3
 $R=1.0$ Ohms/Km. $X=0.161$ Ohms/Km. $Z=1.012$ ANG(9.14) Ohms/Km.
- Para 70 Mts.
 $Z=(1.012 \text{ ANG } 9.14)(0.07)=(0.07 \text{ ANG}(9.14))$ Ohms

4.2.b).- PARA MOTORES DE 800 HP.

- Corriente nominal= 108 Amps.
- Estos motores pueden operar con una sobrecarga continua del 10%.
- Corriente de sobrecarga= 1.1(108)=119 Amps.
- Corriente corregida por los factores de agrupamiento (0.61) y el de temperatura del terreno (1.03).
 $I_{corresida}=119/(0.61 \times 1.03)=189.0$ Amps.
- De la gráfica 20, el calibre adecuado es 1/0.

- Parámetros del cable, de la gráfica 4.3
 $R=0.425$ Ohms/Km. $X=0.151$ Ohms/Km. $Z=0.451$ ANG(19.6) Ohms/Km.
- Para 50 Mts.
 $Z=(0.451 \text{ ANG}(19.6))(0.05)=0.02255 \text{ ANG}(19.6)$ Ohms.

4.2.c).- PARA MOTOR DE 2250 HP.

- Corriente nominal= 308 Amps.
- Este motor esta diseñado para operar con una sobrecarga continua del 15%.
- Corriente de sobrecarga= 1.15(308)=354 Amps.
- Corriente afectada por los factores de agrupamiento y de temperatura del terreno.
 $I_{corresida}=354/(0.61 \times 1.03)=564.0$ Amps.
- De la gráfica 20, el calibre adecuado es de 750 MCM.

- Parámetros del cable, de la gráfica 4.3
 $R=0.06$ Ohms/Km. $X=0.1$ Ohms/Km. $Z=0.1166$ ANG(59.3) Ohms/Km.
- Para 50 Mts.
 $Z=(0.1166 \text{ ANG}(59.3))(0.05)=0.00583 \text{ ANG}(59.03)$ Ohms.

4.3.- CALCULO DE ALIMENTADORES DE MOTORES EN BAJA-TENSION.

4.3.a).-PARA MOTORES DE 125 HP.

- * Distancia del motor al tablero: 100 metros
- * El calibre de los alimentadores sera calculado por capacidad.
- * Los cables irán alojados en tubo conduit (tres fases y neutro) y sólo ocuparán el 40% del diámetro del tubo.
- * La temperatura ambiente máxima oscilará entre los 30 y 40 grados centígrados. Por lo tanto, se tiene un factor de corrección por temperatura ambiente igual a 0.91.

- * Corriente nominal:

$$I_n = (125)(0.746) / (1.732)(0.48)(0.85)(0.9) \\ = 146 \text{ AMPS}$$

- * Los motores estan diseñados para operar con una sobrecarga del 10%.

$$I_{sc} = (1.1)(146) = 160 \text{ AMPS}$$

- * Corriente corregida por el factor de temperatura ambiente.

$$I_{ft} = 160 / 0.91 = 176 \text{ AMPS}$$

De las tablas de alimentadores para baja tensión (anexa al final), se encuentra que el calibre adecuado es:

2/0 THW

- * Parámetros del cable, de la tabla 20:

$$R = 0.299 \text{ ohms/km} \\ X = 0.331 \text{ ohms/km} \\ Z = 0.402 \text{ ANG}(55.32) \text{ ohms/km}$$

- * Impedancia del cable de 100 metros:

$$Z = 0.0402 \text{ ANG}(55.32) \text{ ohms}$$

4.3.b).-PARA MOTORES DE 100 HP.

* Mismos datos generales que en el punto 1

* Corriente nominal:

$$I_n = (100)(0.746) / (1.732)(0.48)(0.85)(0.9) \\ = 117 \text{ AMPS}$$

* Corriente con 10% de sobrecarga:

$$I_{sc} = 129 \text{ AMPS}$$

* Corrección por temperatura

$$I_{ft} = 142 \text{ AMPS}$$

Por tablas determinamos que el calibre adecuado es 2/0 TW

* Parámetros del cable, de la tabla 20:

$$R = 0.299 \text{ ohms/km}$$

$$X = 0.331 \text{ ohms/km}$$

$$Z = 0.402 \text{ ANG}(55.32) \text{ ohms/km}$$

* Impedancia en 70 metros

$$Z = 0.02814 \text{ ANG}(55.32) \text{ ohms}$$

4.3.c).-PARA MOTORES DE 50 HP.

Como se trata de dos motores de 50 HP., para fines del cálculo de corriente de corto-circuito, se tratará como si fuera un motor de 100 HP.

5.-CALCULO DE CORRIENTES DE FALLA.

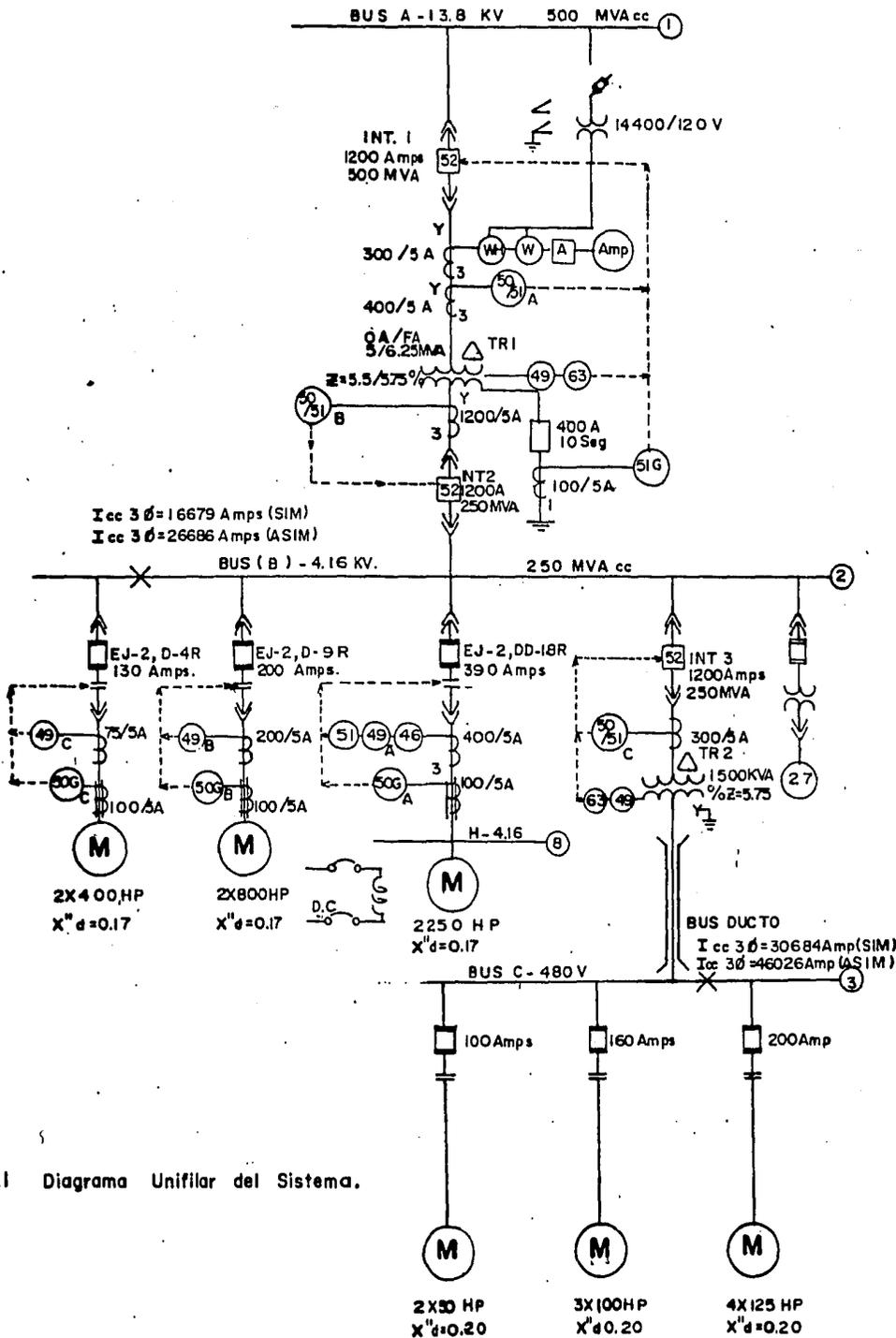


Fig. 5.1 Diagrama Unifilar del Sistema.

CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO - CIRCUITO CONVERSION A VALORES EN P.U.

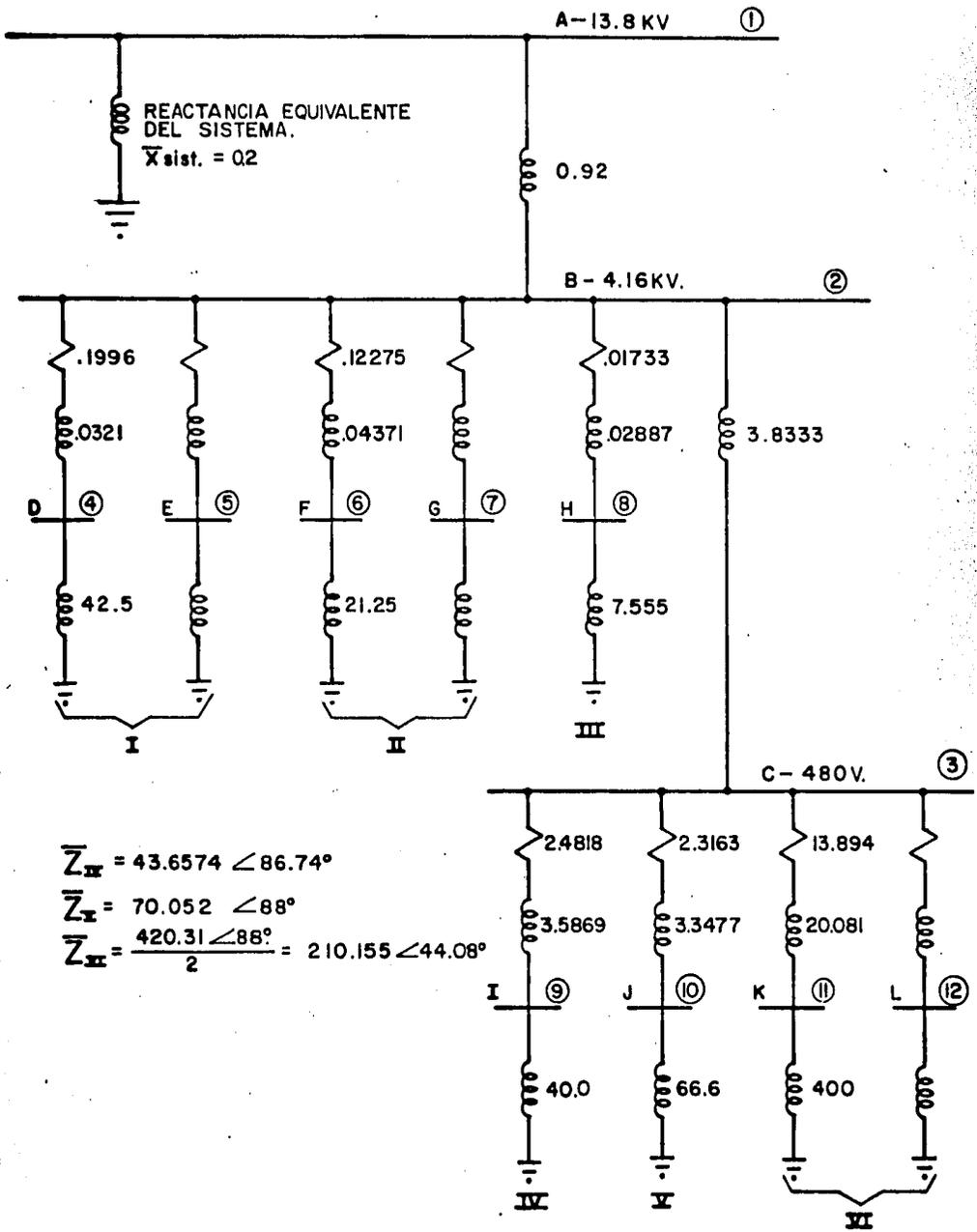
1º.- SE CLASIFICAN LAS TENSIONES, SE SELECCIONA LA POTENCIA BASE
Y SE CALCULAN I_B y Z_B

A R E A S	A 1	A 2	A 3
POTENCIA BASE (MVA) _B	100 MVA	100 MVA	100 MVA
TENSION BASE (KV) _B	13.8 KV	4.16 KV	0.48 KV
$I_B = \frac{(MVA_B) \cdot (10^3)}{\sqrt{3} \cdot (KV_B)}$; [A]	4183.69 AMPS	13878 AMPS	120281 AMPS
$Z_B = \frac{(KV_B)^2}{MVA_B}$; [Ω]	1.9044 Ω	0.173056 Ω	.002304 Ω
$Z_B = \frac{(KV_B \sqrt{3} \cdot (10^3))}{I_B}$; Ω	1.9044 Ω	0.173056 Ω	.002304 Ω

CAMBIO DE BASES: \bar{X} nueva base = $\bar{X} \left(\frac{MVA_{nueva}}{MVA_{antiguo}} \right) \left(\frac{KV_{antiguo}}{KV_{nuevo}} \right)^2$

LINEA — $\bar{Z} = \frac{Z}{Z_B}$	TRANSFORMADORES	GENERADORES
$\bar{Z}_{BF} = \frac{.02255 \angle 196^\circ}{1.73056} = 1303 \angle 196^\circ$ $\bar{Z}_{BF} = .12275 + j .04371$ $\bar{Z}_{BF} = \bar{Z}_{BG}$ $\bar{Z}_{BD} = \frac{.07 \angle 9.14^\circ}{.173056} = .2022 \angle 9.14^\circ$ $\bar{Z}_{BD} = .1996 + j .00321$ $\bar{Z}_{BD} = \bar{Z}_{BE}$ $\bar{Z}_{BH} = \frac{.00583 \angle 59.03^\circ}{.173056}$ $\bar{Z}_{BH} = .03368 \angle 59.03^\circ$ $\bar{Z}_{BH} = .01733 + j .02887$ $\bar{Z}_{CI} = \frac{.04020 \angle 53.32^\circ}{4(.002304)}$ $\bar{Z}_{CI} = 4.3619 \angle 53.32^\circ$ $\bar{Z}_{CI} = 2.4818 + j 3.5869$ $\bar{Z}_{CJ} = \frac{.02814 \angle 53.32^\circ}{3(.002304)}$ $\bar{Z}_{CJ} = 4.071 \angle 53.32^\circ$ $\bar{Z}_{CJ} = 2.3163 + j 3.3477$ $\bar{Z}_{CK} = \frac{.02814(2) \angle 53.32^\circ}{0.02304}$ $\bar{Z}_{CK} = 24.42 \angle 53.32^\circ$ $\bar{Z}_{CK} = \bar{Z}_{CL} = 13.894 + j 20.081$	<p style="text-align: center;">GENERAL MENTE.</p> $\bar{X} = \bar{X} \left(\frac{MVA_{nuevo}}{MVA_{antiguo}} \right)$ $\bar{X} = \bar{X} \left(\frac{MVA_B}{MVA_{nominal}} \right)$ $\bar{X}_{AB} = .0575 \left(\frac{100}{6.25} \right) = 0.92$ $\bar{X}_{BC} = .0575 \left(\frac{100}{1.5} \right) = 3.8333$ <p style="text-align: center;">500 MVA cc</p> $\bar{Z}_n = \frac{13.8^2}{500} = .38088$ $\bar{Z}_p = \frac{13.8^2}{100} = 1.9044$ $\bar{Z} = \frac{.38088}{1.9044} = 0.2$	<p style="text-align: center;">GENERALMENTE</p> $\bar{X} = \bar{X} \left(\frac{MVA_B}{MVA_{nominal}} \right)$ <p style="text-align: center;">MOTORES</p> $\bar{X}_F = \bar{X}_G = .17 \left(\frac{100}{.8} \right) = 21.25$ $\bar{X}_D = .17 \left(\frac{100}{.4} \right) = 42.5 = \bar{X}_E$ $\bar{X}_H = .17 \left(\frac{100}{2.25} \right) = 7.555$ $\bar{X}_I = \frac{.20}{4} \left(\frac{100}{.125} \right) = 40.0$ $\bar{X}_J = \frac{.20}{3} \left(\frac{100}{.100} \right) = 66.666$ $\bar{X}_K = 0.20 \left(\frac{100}{.05} \right) = 400 = \bar{X}_L$
	<p style="text-align: center;">CAPACIDAD DE CORTO CIRCULO TO PROPORCIONADA POR LA CA. SUMINISTRADORA (C.F.E.)</p>	

fig. 5.2.-RED DE SEC. (+).



5.1.-CALCULO DE I_{cc} TRIFASICA EN EL BUS (2)B-4.16kV

REDUCCION DE LA RED DE SECUENCIA POSITIVA:

$$\bar{Z}(2-VII)=0.2+0.92j=1.12$$

$$\bar{Z}(I)=(.1996/2)+j(42.5321/2)$$

$$Z(I)=21.2662 \text{ ANG}(89)$$

$$\bar{Z}(II)=.0613+j10.6468$$

$$Z(II)=10.649 \text{ ANG}(89.67)$$

$$\bar{Z}(III)=.01733+j7.5838$$

$$Z(III)=7.5838 \text{ ANG}(89)$$

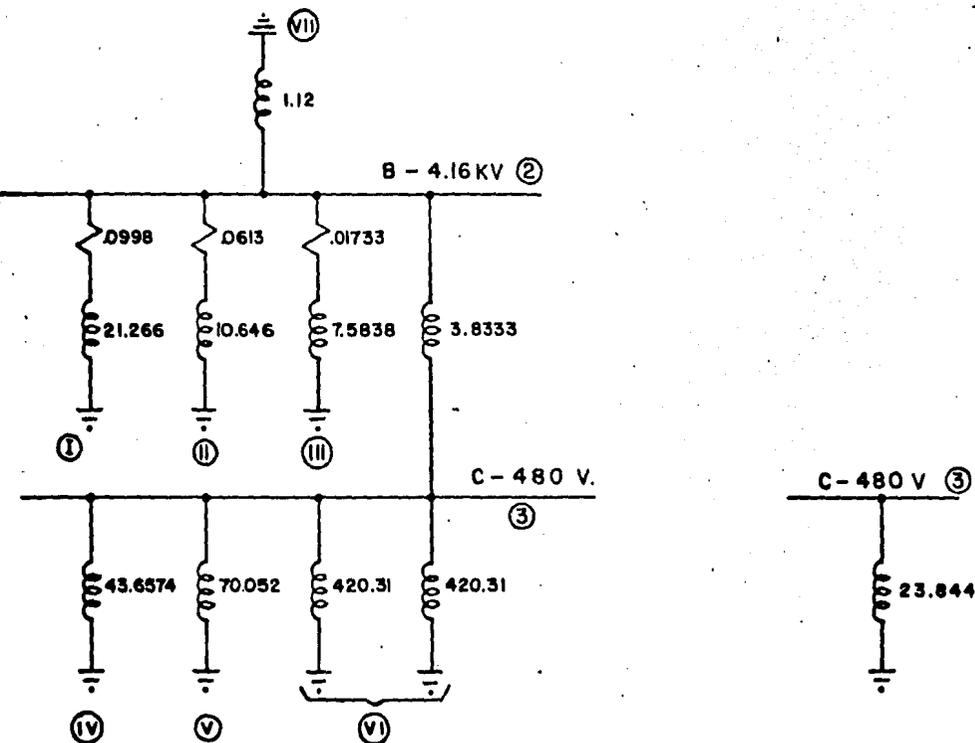


Fig. 5.3.-Primera reducción de la red de secuencia positiva.

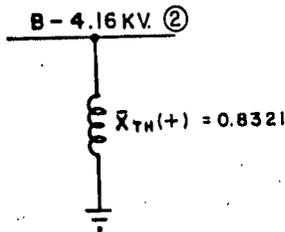
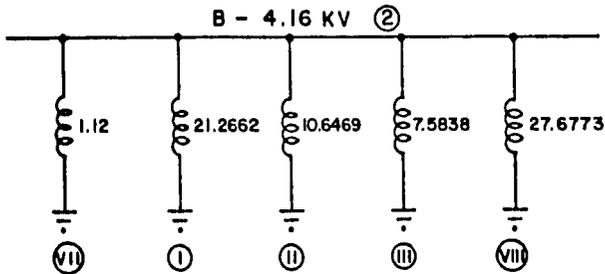
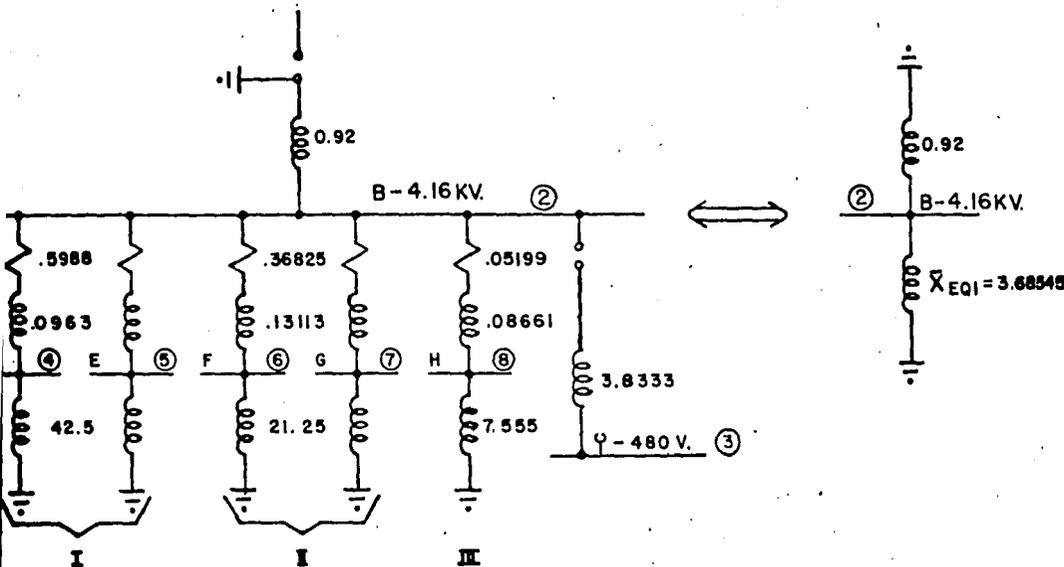


Fig. 5.4.-Reducción final de la red de secuencia positiva.

$$I_{cc(3\phi)} = 1 / 0.8321 = 1.20179 \quad \langle \text{=====} \rangle \cdot 1.20179 (13878) = 16679 \text{ AMPES.}$$

5.2.- CALCULO DE I_{cc} MONOFASICA EN EL BUS (2)B-4.16kV.
(SIN CONSIDERAR RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA)

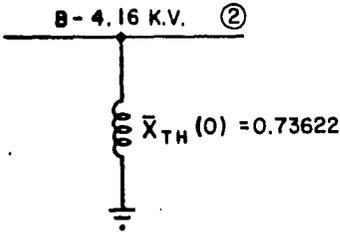


$$\begin{aligned} \bar{Z}(I) &= (0.5988/2) + j(42.5 + 0.0963)/2 \\ \bar{Z}(I) &= 21.3 \text{ ANG}(89.19) * \\ \bar{Z}(II) &= 0.18412 + j10.6905 \\ \bar{Z}(II) &= 10.692 \text{ ANG}(89) * \\ \bar{Z}(III) &= 0.05199 + j7.64161 \\ \bar{Z}(III) &= 7.6417 \text{ ANG}(89.6) * \\ \bar{X}_{eq1} &= \bar{Z}(I) // \bar{Z}(II) // \bar{Z}(III) = 3.68545 \end{aligned}$$

Fig. 5.5.-Reducción de la red de secuencia cero.

* Para el cálculo de \bar{X}_{eq1} se manejan las magnitudes de la impedancia.

EL VALOR DE LA CORRIENTE DE
FALLA MONOFASICA EN EL BUS ES:



$$I_{cc}(1\phi) = 3Ea1 / (2X_{th}(+) + X_{th}(0))$$
$$I_{cc}(1\phi) = 3(1) / (2(.8321) + .73622)$$
$$= 1.24978$$

$$I_{cc}(1\phi) = I_{cc}(1\phi) (13878) = 17342 \text{ AMPS}$$

5.3.-SELECCION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO DEL TRANSFORMADOR.

El sistema aterrizado a través de una resistencia de bajo valor no tiene problemas de sobrevoltajes transitorios, se puede decir que el comportamiento es similar, en ese aspecto, al sólidamente aterrizado. La resistencia limita las magnitudes de la corriente de falla a tierra, reduciendo el daño al equipo.

Se han visto casos de sistemas aterrizados sólidamente, donde se tienen niveles de cortocircuito muy altos y se han presentado fallas que prácticamente destruyen el equipo.

La resistencia de puesta a tierra se selecciona de tal manera que permita circular suficiente corriente para que los relevadores de falla a tierra detecten el suceso así como para evitar sobretensiones que pongan en riesgo el aislamiento del equipo, especialmente el electrónico. Este tipo de aterrizamiento es recomendable principalmente en sistemas de 2.4 a 13.8 kV, donde se alimentan motores.

La resistencia de puesta a tierra, se selecciona normalmente para limitar corriente de falla a tierra a valores que van desde 100 hasta 2000 Amps y generalmente para un tiempo de 10 segundos.

Por experiencia podemos decir que un 95% de las fallas ocurridas son monofásicas por tal razón, y porque en nuestro esquema los valores calculados para estas fallas son altos, se ha decidido aterrizar el neutro del transformador a través de una resistencia de 6 ohms.

5.4.-CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO MONOFASICA EN BUS (2)B-4.16 kV. (CON RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE 6 OHMS).

$$\bar{X}_{th(+)} = \bar{X}_{th(-)} = 0.8321$$

$$\bar{X}_{th(0)} = 0.73622$$

$$R = 6 \text{ OHMS}$$

$$\bar{R} = (R/ZB) = (6/0.173056) = 34.67085$$

$$3\bar{R} = 104.0125$$

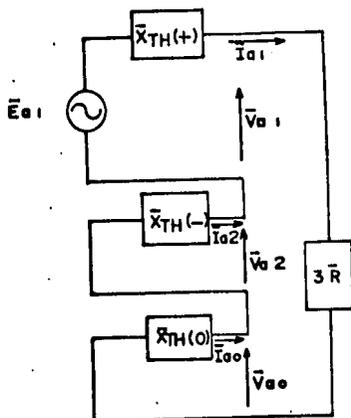
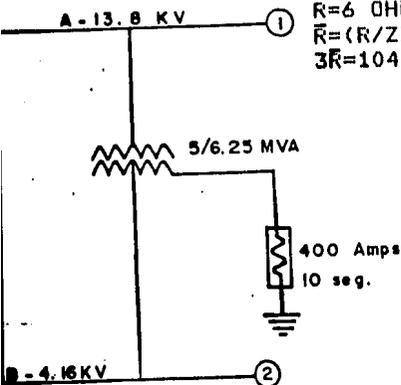


Fig. 5.6.-Conexión de los circuitos equivalentes de sec(+), (-) y (0) para representar falla de fase a tierra.

$$\bar{I}_{cc(1\phi)} = 3\bar{E}_{a1} / (2\bar{X}_{th(+)} + \bar{X}_{th(0)} + 3\bar{R})$$

$$\bar{I}_{cc(1\phi)} = 3(1) / (2(0.8321) + 0.7362 + 104.0125)$$

$$\bar{I}_{cc(1\phi)} = 0.028192$$

$$I_{cc(1\phi)} = \bar{I}_{cc(1\phi)} I_B$$

$$I_{cc(1\phi)} = 391 \text{ Amps.}$$

Si se supone que la fase fallada es "A":

$$\bar{V}_a = \bar{R} \bar{I}_a$$

$$\bar{V}_a = (34.67085)(0.028192) = 0.97744$$

$$V_a = \bar{V}_a \sqrt{3} = (0.9774)(4160/1.732) = 2348 \text{ Volts}$$

$$\bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = \bar{I}_{a0} = \bar{I}_a / 3$$

$$\bar{I}_{a1} = 0.0093973$$

En la parte simétrica del sistema:

$$\bar{V}_{a1} = \bar{E}_{a1} - \bar{X}_{th(+)} \bar{I}_{a1}$$

$$\bar{V}_{a1} = 1 - (0.8321)(0.0093973) = 0.99218$$

$$\bar{V}_{a2} = -\bar{X}_{th(-)} \bar{I}_{a2} = -(0.8321)(0.0093973) = -0.007819$$

$$\bar{V}_{a0} = -\bar{X}_{th(0)} \bar{I}_{a0} = -(0.73622)(0.009397) = -0.006918$$

Tensión en la fase "A"

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{a1} + \bar{V}_{a2} + \bar{V}_{a0} = 0.97744 \quad \langle \text{=====} \rangle \quad V_a = \bar{V}_a (4160/1.732) = 2348 \text{ volts}$$

Tensión en la fase "B":

$$\bar{V}_b = a^2 \bar{V}_{a1} + a \bar{V}_{a2} + \bar{V}_{a0}$$

$$\bar{V}_b = (-0.5 - 0.866j)0.99218 + (-0.5 + 0.866j)(-0.007819) - 0.006918$$

$$\bar{V}_b = 0.99954 \text{ ANG}(-120)$$

$$V_b = \bar{V}_b \sqrt{3} = (0.99954 \text{ ANG}(-120))(4160/1.732) = 2400 \text{ ANG}(-120)$$

Tension en la fase 'C':

$$\bar{V}_c = a\bar{V}_{a1} + a^2\bar{V}_{a2} + \bar{V}_{a0}$$

$$\bar{V}_c = (-0.5 + j0.866j)(0.99218) + (-0.5 - j0.866j)(-0.007819) - 0.006918$$

$$\bar{V}_c = 0.9995 \text{ ANG}(120)$$

$$\bar{V}_c = V_c V_B = (0.9995 \text{ ANG}(120))(4160/1.732)$$

$$\bar{V}_c = 2400 \text{ ANG}(120)$$

5.5.- CALCULO DE I_{cc} ENTRE FASES EN EL BUS (2)B-4.16kV.

$$\bar{I}_{a1} = 1/2(0.8321) = 0.6009$$

$$\bar{I}_{a2} = -0.6009$$

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = 0.0$$

$$\bar{I}_b = (-0.5 - j0.866 + 0.5 - j0.866)(0.6009)$$

$$\bar{I}_b = -1.04077 \text{ ANG}(-90)$$

$$I_b = 14444 \text{ Amps}$$

$$\bar{I}_c = a\bar{I}_{a1} + a^2\bar{I}_{a2} = (a - a^2)\bar{I}_{a1}$$

$$\bar{I}_c = (-0.5 + j0.866 + 0.5 + j0.866)(0.6009)$$

$$\bar{I}_c = 1.04077 \text{ ANG}(90)$$

$$I_c = 14444 \text{ Amps}$$

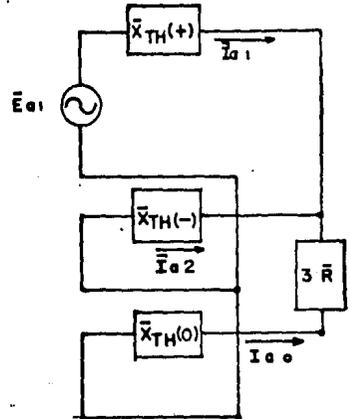


Fig. 5.7.- Superposición de de las redes de secuencia positiva y negativa.

$$\bar{V}_{a1} = \bar{V}_{a2} = -\bar{X}_{th}(-)(\bar{I}_{a2}) = -(0.8321)(-0.6009) = 0.5$$

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{a1} + \bar{V}_{a2} = 0.5 + 0.5 = 1.0$$

$$\bar{V}_b = (a^2 + a)\bar{V}_{a1} = (-0.5 - j0.866 - 0.5 + j0.866)(0.5) = -0.5j$$

$$\bar{V}_b = 0.5 \text{ ANG}(-90)$$

$$\bar{V}_c = (a + a^2)\bar{V}_{a1} = (-0.5 + j0.866 - 0.5 + j0.866)(0.5) = -0.5j$$

$$\bar{V}_c = 0.5 \text{ ANG}(-90)$$

5.6.- CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO TRIFASICA EN EL BUS (8) H-4.16 KV.

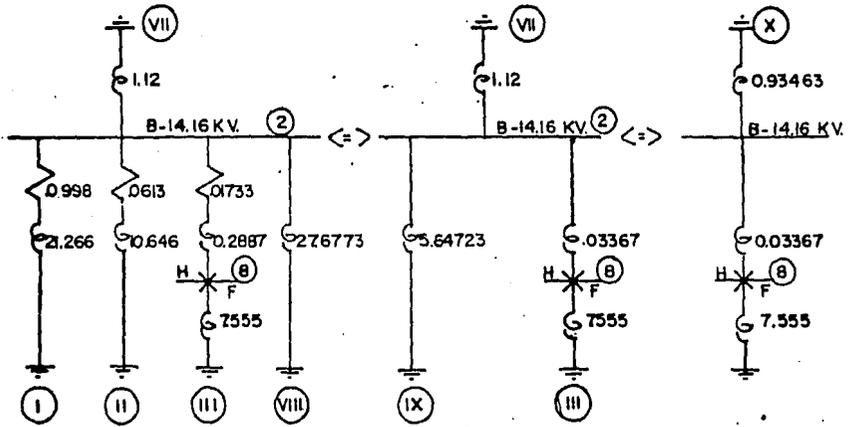


fig. 5.8 REDUCCION DE LA RED DE SEC. (+)

$$\bar{Z}_{(I)} = 21.2662 \angle 89^\circ$$

$$\bar{Z}_{(II)} = 10.6469 \angle 89.67^\circ$$

$$\bar{Z}_{2-8} = 0.1733 + j0.02887 = 0.3367 \angle 59^\circ$$

$$\bar{Z}_{(IX)} = \bar{Z}_{(I)} // \bar{Z}_{(II)}$$

$$\bar{Z}_{(IX)} = \frac{(21.2662)(10.6469)}{21.2662 + 10.6469} = 5.64723$$

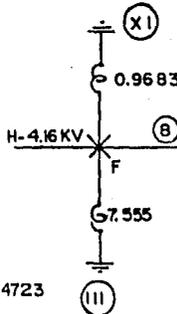
$$\bar{Z}_{(X)} = \bar{Z}_{(IX)} // \bar{Z}_{(VII)}$$

$$= \frac{(5.64723)(1.12)}{5.64723 + 1.12} = 0.93463$$

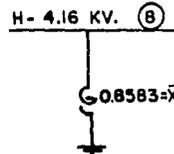
$$\bar{Z}_X = \bar{Z}_X + \bar{Z}_{(2)-(8)}$$

$$= 0.93463 + 0.03367 = 0.9683$$

$$\bar{Z}_{XI} = \bar{Z}_{(III)} // \bar{Z}_{XI} = \frac{(0.9683)(7.555)}{0.9683 + 7.555} = 0.8583$$



<=>

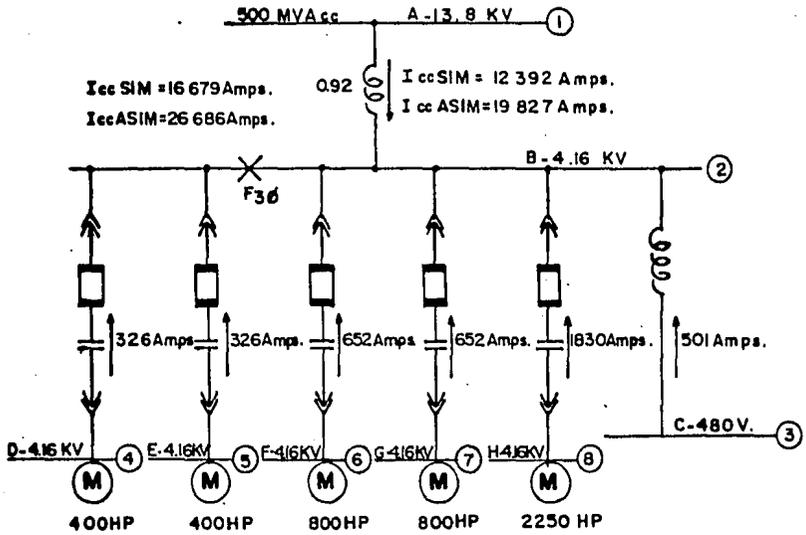


$$\bar{I}_{cc3\phi} = \frac{1}{0.8583} = 1.165$$

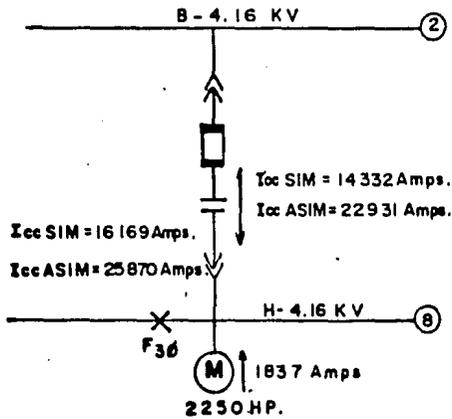
$$I_{cc3\phi} = 1.165 (13878) = 16169 \text{ Amps.}$$

5.7.-FLUJOS DE CORRIENTE PARA UN CORTOCIRCUITO TRIFASICO.

CORTO CIRCUITO TRIFASICO EN EL BUS ② B-4-16 KV

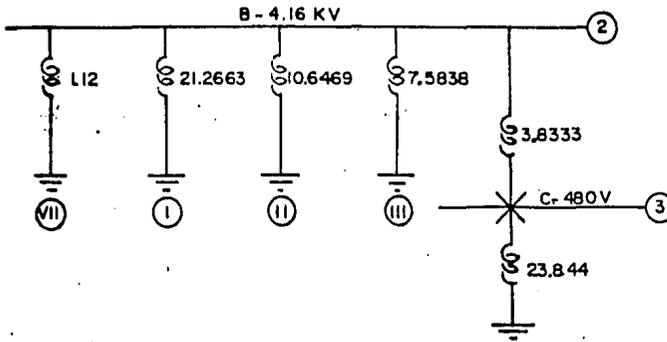


CORTO CIRCUITO TRIFASICO EN LAS TERMINALES DEL MOTOR DE 2250 HP.

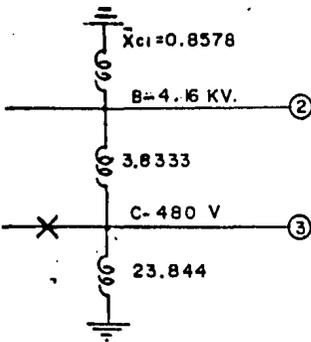


5.8.-RESUMEN DE I_{cc} PARA DIVERSAS FALLAS EN EL BUS 2 B-4.16kV

TIPO DE FALLA	I_{cc} (P.U.)	I_{cc} (AMPS)
TRIFASICA	1.20179	16679
MONOFASICA (SIN R DE P. A T.)	1.24978	17342
MONOFASICA (CON R DE P. A T. DE 6 OHMS)	0.028192	391
ENTRE FASES B Y C	$I_b=1.0407 \text{ ANG}(-90)$ $I_c=1.0407 \text{ ANG}(90)$	14444 ANG(-90) 14444 ANG(90)
ENTRE FASES B Y C A TIERRA CON R DE P. A T.	$I_b=1.0407 \text{ ANG}(-90)$ $I_c=1.0407 \text{ ANG}(90)$	14444 ANG(-90) 14444 ANG(90)
ENTRE FASES B Y C A TIERRA SIN R DE P. A T. SIN R DE P. A T.	$I_b=1.2274 \text{ ANG}(-122)$ $I_c=1.2274 \text{ ANG}(122)$	17033 ANG(-122) 17033 ANG(122)



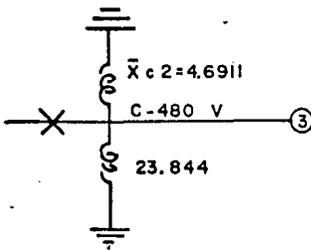
SIMPLIFICACION:



$$\frac{1}{\bar{X}_{c1}} = \frac{1}{1.12} + \frac{1}{21.2662} + \frac{1}{10.6469} + \frac{1}{7.5833}$$

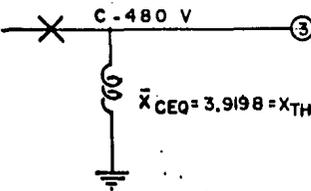
$$\frac{1}{\bar{X}_{c1}} = 4656$$

$$\bar{X}_{c1} = 0.8578$$



$$\bar{X}_{c2} = 0.8578 + 3.8333 = 4.6911$$

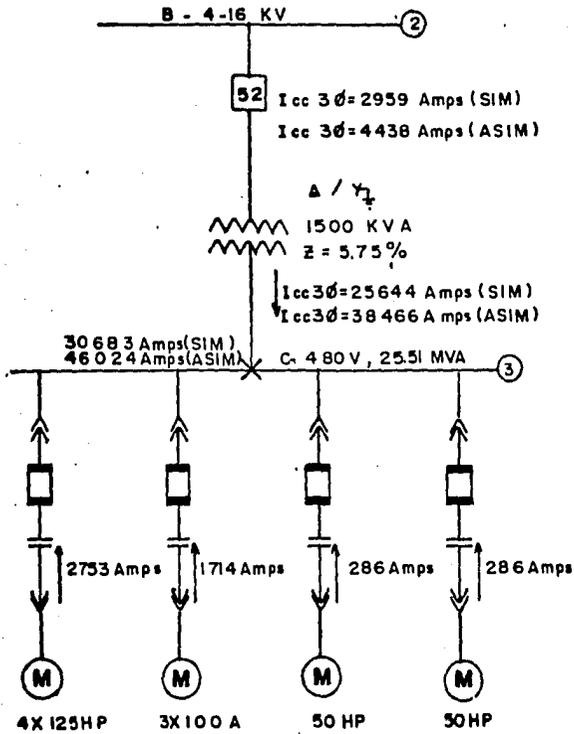
$$\bar{X}_{CE0} = \frac{(4.6911)(23.844)}{4.6911 + 23.844}$$



$$I_{cc3\phi} = \frac{1}{3.9198} = 0.2551$$

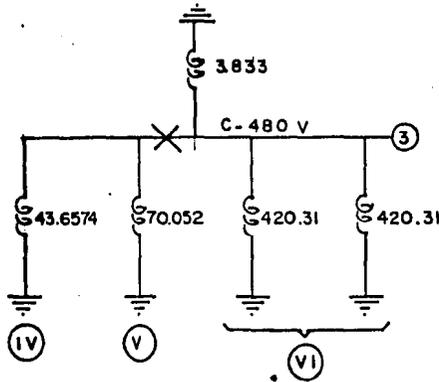
$$I_{cc3\phi} = 0.2551 (120281) = 30684 \text{ Amps.}$$

FLUJOS DE CORRIENTE PARA UN CORTO CIRCUITO TRIFASICO EN EL BUS (3) C-480V.



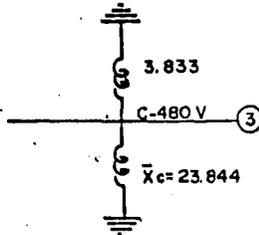
5.11 CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO MONOFASICO EN EL BUS ③ C - 480 V.

DE LAS FIG. 5.3 y 5.4.

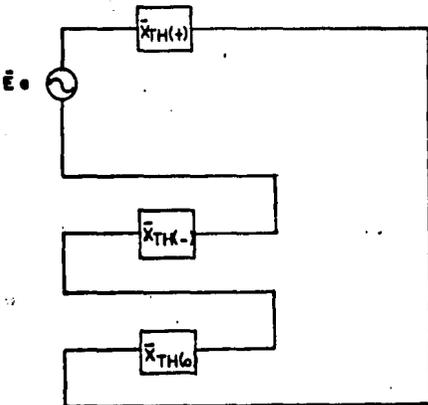


$$\frac{1}{\bar{X}_c} = \frac{1}{43.6574} + \frac{1}{70.052} + \frac{1}{420.31} + \frac{1}{420.31}$$

$$\bar{X}_c = 23.844$$



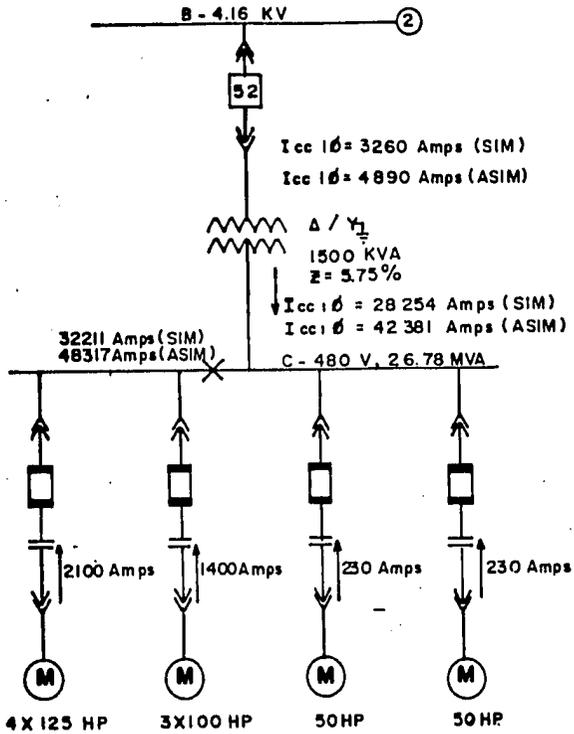
$$\bar{X}_{TH(0)} = \frac{(3.833)(23.844)}{3.833 + 23.844} = 3.3022$$



$$I_{cc} \phi = \frac{3 (1)}{2 (3.9198) + 3.3022} = 0.2690$$

$$I_{cc} \phi = 0.2692 (120281) = 32355 \text{ Amps}$$

FLUJOS DE CORRIENTE PARA UN CORTO CIRCUITO MONOFASICO EN EL BUS (3) C-480V.



CALCULO DE LA ICC. TRIFASICA Y MONOFASICA EN EL BUS B-4.16KV ϕ
 Y EN ALGUNAS TERMINALES DE LOS MOTORES.

DATOS DE LA RED DE SECUENCIA POSITIVA

GRAPH DATA : ϕ

LINE DATA :

NL	IBUS	JBUS	R	X ϕ
1	1	2	0.00000E 00	0.92000E 00
2	2	3	0.00000E 00	0.38333E 01
3	2	4	0.19960E 00	0.32100E-01
4	2	5	0.19960E 00	0.32100E-01
5	2	6	0.12275E 00	0.43710E-01
6	2	7	0.12275E 00	0.43710E-01
7	2	8	0.17330E-01	0.28870E-01
8	3	9	0.24818E 01	0.35869E 01
9	3	10	0.23163E 01	0.33477E 01
10	3	11	0.13894E 02	0.20081E 02
11	3	12	0.13894E 02	0.20081E 02

PHUNT DATA : ϕ

NS	IBUS	JBUS	R	X ϕ
12	0	1	0.00000E 00	0.20000E 00
13	0	4	0.00000E 00	0.42500E 02
14	0	5	0.00000E 00	0.42500E 02
15	0	6	0.00000E 00	0.21250E 02
16	0	7	0.00000E 00	0.21250E 02
17	0	8	0.00000E 00	0.75550E 01
18	0	9	0.00000E 00	0.40000E 02
19	0	10	0.00000E 00	0.66666E 02
20	0	11	0.00000E 00	0.40000E 03
21	0	12	0.00000E 00	0.40000E 03

C O R T O C I R C U I T O T R I F A S I C O

EL BUS 2 ES B-4.16KV. ϕ

FALLA EN EL BUS : 2 I = 1.2018 PU ANG = -89.88

VALOR COMPLEJO = 0.2497E-02 -0.1202E 01 PU ϕ

ZTH = 0.1729E-02 0.8321E 00 PU ϕ

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 2 ϕ

BUS BUS IR IJ I EN MAG

1	2	-0.2980E-09	-0.8929E 00	-0.8929E 00
2	3	-0.1434E-02	0.3610E-01	-0.3613E-01
4	2	0.1098E-03	-0.2351E-01	0.2351E-01
5	2	0.1098E-03	-0.2351E-01	0.2351E-01
6	2	0.2671E-03	-0.4696E-01	0.4696E-01
7	2	0.2661E-03	-0.4696E-01	0.4696E-01
8	2	0.3006E-03	-0.1319E 00	0.1319E 00

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS :

2

BUS	V EN MAG@
1	0.82143@
3	0.13851@
4	0.00475@
5	0.00475@
6	0.00612@
7	0.00612@
8	0.00444@

CORTO CIRCUITO TRIFASICO

EL BUS 4 ES D-4.16KV.@

FALLA EN EL BUS : 4 I = 1.1297 PU ANG = -77.39

VALOR COMPLEJO = 0.2466E 00 -0.1102E 01 PU@

ZTH = 0.1932E 00 0.8638E 00 PU@

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 4@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
4	2	-0.2466E 00	0.1079E 01	-0.1107E 01
0	4	0.0000E 00	-0.2353E-01	0.2353E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS :

4

BUS	V EN MAG@
2	0.22375@

CORTO CIRCUITO TRIFASICO

EL BUS 6 ES F-4.16KV.@

FALLA EN EL BUS : 6 I = 1.1358 PU ANG = -82.53

VALOR COMPLEJO = 0.1476E 00 -0.1126E 01 PU@

ZTH = 0.1144E 00 0.8729E 00 PU@

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 6@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
6	2	-0.1475E 00	0.1079E 01	-0.1089E 01
0	6	0.0000E 00	-0.4706E-01	0.4706E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 6

BUS V EN MAG@

2 0.14192@

C O R T O C I R C U I T O T R I F A S I C O

EL BUS 8 ES M-4.16KV.@

FALLA EN EL BUS : 8 I = 1.1700 PU ANG = -88.98

VALOR COMPLEJO = 0.2072E-01 -0.1170E 01 PU@

ZTH = 0.1514E-01 0.8546E 00 PU@

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 8@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
8	2	-0.2071E-01	0.1037E 01	-0.1038E 01
0	8	0.0000E 00	-0.1324E 00	0.1324E 00

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 8

BUS V EN MAG@

2 0.03494@

DATOS DE LA RED DE SECUENCIA CERO

GRAPH DATA :@

LINE DATA :

L IBUS JBUS R X Y/2 F@

2	4	0	0.59880	0.09630	0.00000	0	1	0@
2	5	0	0.59980	0.09630	0.00000	0	1	0@
2	6	0	0.36825	0.13113	0.00000	0	1	0@
2	7	0	0.36825	0.13113	0.00000	0	1	0@
2	8	0	0.05199	0.08661	0.00000	0	1	0@

SHUNT DATA :

IBUS	JBUS	R	X	F@			
0	2	0	0.00000	0.92000	0	1	0@
0	4	0	0.00000	42.50000	0	1	0@
0	5	0	0.00000	42.50000	0	1	0@
0	6	0	0.00000	21.25000	0	1	0@
0	7	0	0.00000	21.25000	0	1	0@
0	8	0	0.00000	7.55500	0	1	0@

MUTUAL DATA :@

IBUS	JBUS	COUPLED TO	KBUS	LBUS	R	X@
------	------	------------	------	------	---	----

C O R T O C I R C U I T O M O N O F A S I C O

EL BUS 2 ES B-4.16KV.@

FALLA EN EL BUS : 2 I = 1.2498 PU ANG = -89.88

VALOR COMPLEJO = 0.2694E-02 -0.1250E 01 PUA

ZTH (0) = 0.1714E-02 0.7362E 00 PU

ZTH (+) = 0.1730E-02 0.8321E 00 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 2@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
2	4	-0.2998E-03	0.2160E-01	-0.2160E-01
2	5	-0.3002E-03	0.2160E-01	-0.2160E-01
2	6	-0.7332E-03	0.4302E-01	-0.4303E-01
2	7	-0.7332E-03	0.4302E-01	-0.4303E-01
2	8	-0.7963E-03	0.1204E 00	-0.1204E 00
0	2	-0.1722E-03	-0.1000E 01	0.1000E 01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 2

BUS	V EN MAG@
4	0.01424@
5	0.01426@
6	0.01828@
7	0.01828@

C O R T O C I R C U I T O M O N O F A S I C O

EL BUS 4 ES D-4.16KV.0

FALLA EN EL BUS : 4 I = 1.0950 PU ANG = -69.41

VALOR COMPLEJO = 0.3851E 00 -0.1025E 01 PU0

ZTH (0) = 0.5771E 00 0.8370E 00 PU

ZTH (+) = 0.1932E 00 0.8638E 00 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 40

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
2	4	0.3914E 00	-0.9997E 00	0.1074E 01
0	4	-0.6335E-02	-0.2542E-01	0.2619E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 4

BUS	V EN MAG0
2	0.584880

C O R T O C I R C U I T O M O N O F A S I C O

EL BUS 6 ES F-4.16KV.0

FALLA EN EL BUS : 6 I = 1.1234 PU ANG = -77.69

VALOR COMPLEJO = 0.2394E 00 -0.1098E 01 PU0

ZTH (0) = 0.3403E 00 0.8632E 00 PU

ZTH (+) = 0.1144E 00 0.8729E 00 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 60

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
2	6	0.2472E 00	-0.1049E 01	0.1078E 01
0	6	-0.7851E-02	-0.4842E-01	0.4905E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 6

BUS V EN MAG@
 2 0.40423@

CORTO CIRCUITO MONOFASICO

EL BUS 8 ES H=4.16KV.@

FALLA EN EL BUS : 8 I = 1.1925 PU ANG = -88.34

VALOR COMPLEJO = 0.3459E-01 -0.1192E 01 PU@

ZTH (0) = 0.4270E-01 0.8055E 00 PU

ZTH (+) = 0.1514E-01 0.8546E 00 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 8@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
2	8	0.3762E-01	-0.1065E 01	0.1065E 01
0	8	-0.3049E-02	-0.1273E 00	0.1273E 00

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 8

BUS V EN MAG@
 2 0.11188@

CALCULO DE LA ICC. TRIFASICA Y MONOFASICA EN EL BUS C-480V.

Y EN LAS TERMINALES DE LOS MOTORES.

DATOS DE LA RED DE SECUENCIA POSITIVA

GRAPH DATA :@

LINE DATA :

NL	IBUS	JBUS	R	X@
1	1	2	0.00000E 00	0.92000E 00
2	2	3	0.00000E 00	0.38333E 01
3	2	4	0.19960E 00	0.32100E-01
4	2	5	0.19960E 00	0.32100E-01
5	2	6	0.12275E 00	0.43710E-01
6	2	7	0.12275E 00	0.43710E-01
7	2	8	0.17330E-01	0.28870E-01
8	3	9	0.24818E 01	0.35869E 01
9	3	10	0.23163E 01	0.33477E 01
10	3	11	0.13894E 02	0.20081E 02
11	3	12	0.13894E 02	0.20081E 02

NT DATA :@

NS	IBUS	JBUS	R	X@
12	0	1	0.00000E 00	0.20000E 00
13	0	4	0.00000E 00	0.42500E 02
14	0	5	0.00000E 00	0.42500E 02
15	0	6	0.00000E 00	0.21250E 02
16	0	7	0.00000E 00	0.21250E 02
17	0	8	0.00000E 00	0.75550E 01
18	0	9	0.00000E 00	0.40000E 02
19	0	10	0.00000E 00	0.66666E 02
20	0	11	0.00000E 00	0.40000E 03
21	0	12	0.00000E 00	0.40000E 03

C O R T O C I R C U I T O T R I F A S I C O

EL BUS 3 ES C-480V.@

FALLA EN EL BUS : 3 I = 0.2551 PU ANG = -89.56

VALOR COMPLEJO = 0.1967E-02 -0.2551E 00 PU@

ZTH = 0.3023E-01 0.3920E 01 PU@

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 3@

BUS BUS IR IJ I EN MAG 1

2	3	0.3556E-04	-0.2132E 00	0.2132E 00
9	3	0.1302E-02	-0.2287E-01	0.2291E-01
10	3	0.4718E-03	-0.1427E-01	0.1427E-01
11	3	0.7863E-04	-0.2378E-02	0.2379E-02
12	3	0.7863E-04	-0.2378E-02	0.2379E-02

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 3

BUS	V EN MAG@
2	0.81713@
9	0.09991@
10	0.05811@
11	0.05810@
12	0.05810@

C O R T O C I R C U I T O T R I F A S I C O

EL BUS 9 ES I-480V.@

FALLA EN EL BUS : 9 I = 0.1448 PU ANG = -75.45

VALOR COMPLEJO = 0.3639E-01 -0.1402E 00 PU@

ZTH = 0.1735E 01 0.6683E 01 PU@

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 9@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
9	3	-0.3639E-01	0.1152E 00	-0.1208E 00
0	9	0.0000E 00	-0.2500E-01	0.2500E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 9

BUS	V EN MAG@
3	0.52689@

C O R T O C I R C U I T O T R I F A S I C O

EL BUS 10 ES J-480V.@

FALLA EN EL BUS : 10 I = 0.1417 PU ANG = -74.47

VALOR COMPLEJO = 0.3793E-01 -0.1365E 00 PU@

ZTH = 0.1890E 01 0.6802E 01 PUA

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 10a

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
10	3	-0.3793E-01	0.1215E 00	-0.1273E 00
0	10	0.0000E 00	-0.1500E-01	0.1500E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 10

BUS	V EN MAGa
3	0.51808a

CORTO CIRCUITO TRIFASICO

EL BUS 11 ES K-480V.a

FALLA EN EL BUS : 11 I = 0.0382 PU ANG = -61.80

VALOR COMPLEJO = 0.1804E-01 -0.3365E-01 PUA

ZTH = 0.1238E 02 0.2308E 02 PUA

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 11a

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
11	3	-0.1804E-01	0.3115E-01	-0.3600E-01
0	11	0.0000E 00	-0.2500E-02	0.2500E-02

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 11

BUS	V EN MAGa
3	0.87903a

CORTO CIRCUITO TRIFASICO

EL BUS 12 ES L-480V.a

FALLA EN EL BUS : 12 I = 0.0382 PU ANG = -61.80

VALOR COMPLEJO = 0.1804E-01 -0.3365E-01 PUA

ZTH = 0.1238E 02 0.2308E 02 PUA

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 12a

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
12	3	-0.1804E-01	0.3115E-01	-0.3600E-01
0	12	0.0000E 00	-0.2500E-02	0.2500E-02

VÓLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 12

BUS	V EN MAGa
3	0.87903a

DATOS DE LA RED DE SECUENCIA CERO

GRAPH DATA :a

LINE DATA :

IBUS	JBUS	R	X	Y/2	Fa	
3	9	0	7.44540	10.76070	0.00000	0 1 0a
3	10	0	6.94890	10.04310	0.00000	0 1 0a
3	11	0	41.68200	60.24300	0.00000	0 1 0a
3	12	0	41.68200	60.24300	0.00000	0 1 0a

SHUNT DATA :

IBUS	JBUS	R	X	Fa	
0	3	0	0.00000	3.83330	0 1 0a
0	9	0	0.00000	40.00000	0 1 0a
0	10	0	0.00000	66.66599	0 1 0a
0	11	0	0.00000	400.00000	0 1 0a
0	12	0	0.00000	400.00000	0 1 0a

MUTUAL DATA :a

IBUS	JBUS	COUPLED TO	KBUS	LBUS	R	Xa
------	------	------------	------	------	---	----

CORTO CIRCUITO MONOFASICO

EL BUS 3 ES C-480V.a

FALLA EN EL BUS : 3 I = 0.2678 PU ANG = -89.44

VALOR COMPLEJO = 0.2631E-02 -0.2678E 00 PUA

ZTH (0) = 0.4963E-01 0.3362E 01 PU

ZTH (+) = 0.3023E-01 0.3920E 01 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 3a

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
3	9	-0.2461E-02	0.1738E-01	-0.1755E-01
3	10	-0.9971E-03	0.1165E-01	-0.1169E-01
3	11	-0.1661E-03	0.1941E-02	-0.1948E-02
3	12	-0.1661E-03	0.1941E-02	-0.1948E-02
0	3	-0.1159E-02	-0.2349E 00	0.2349E 00

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 3

BUS	V EN MAGa
9	0.25506a
10	0.15856a
11	0.15852a
12	0.15852a

C O R T O C I R C U I T O M O N O F A S I C O

EL BUS 9 ES I-480V.a

FALLA EN EL BUS : 9 I = 0.1173 PU ANG = -73.10

VALOR COMPLEJO = 0.3410E-01 -0.1122E 00 PUa

ZTH (0) = 0.3968E 01 0.1111E 02 PU

ZTH (+) = 0.1735E 01 0.6683E 01 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 9a

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
3	9	0.3576E-01	-0.7766E-01	0.8550E-01
0	9	-0.1660E-02	-0.3455E-01	0.3459E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 9

BUS	V EN MAGa
3	0.80867a

C O R T O C I R C U I T O M O N O F A S I C O

EL BUS 10 ES J-480V.¿

FALLA EN EL BUS : 10 I = 0.1124 PU ANG = -71.28

VALOR COMPLEJO = 0.3607E-01 -0.1064E 00 PUA

ZTH (0) = 0.4790E 01 0.1168E 02 PU

ZTH (+) = 0.1890E 01 0.6802E 01 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 10@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
3	10	0.3739E-01	-0.8517E-01	0.9302E-01
0	10	-0.1324E-02	-0.2124E-01	0.2128E-01

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 10

BUS	V EN MAG@
3	0.80067@

CORTO CIRCUITO MONOFASICO

EL BUS 11 ES K-480V.¿

FALLA EN EL BUS : 11 I = 0.0255 PU ANG = -61.85

VALOR COMPLEJO = 0.1202E-01 -0.2246E-01 PUA

ZTH (0) = 0.3081E 02 0.5767E 02 PU

ZTH (+) = 0.1238E 02 0.2308E 02 PU

CONTRIBUCIONES A LA FALLA EN EL BUS : 11@

BUS	BUS	IR	IJ	I EN MAG
3	11	0.1202E-01	-0.1830E-01	0.2189E-01
0	11	0.2745E-05	-0.4164E-02	0.4164E-02

VOLTAJES EN BUSES ADYACENTES AL BUS : 11

BUS	V EN MAG@
3	0.96274@

6.- DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

Los dispositivos de protección tienen un papel muy importante dentro de los sistemas eléctricos de potencia, estos protegen a equipos tales como: generadores, transformadores, líneas de transmisión, bancos de capacitores, buses, alimentadores y cargas (motores, sistemas de alumbrado, hornos, Etc.). La protección se lleva a cabo de la siguiente manera: en condiciones anormales de operación (casos de fallas), se presentan algunos de los siguientes efectos: sobrecorrientes, baja tensión, sobrecalentamientos, sobretensiones, desbalanceo de corrientes, éstos efectos son sentidos de alguna manera por sensores, TC'S o por TP'S en los equipos de alta tensión (en los equipos de baja tensión son sentidos directamente). De los transformadores de instrumento se alimenta a los relevadores, los cuales al operar, cierran sus contactos y energizan la bobina de una alarma indicando al operador la existencia de alguna anomalía o energizan a la bobina de disparo del interruptor, liberando así la falla del equipo protegido. En otros casos, el relevador podría a través de sus contactos, energizar a la bobina de operación de un relevador auxiliar, este podría abrir y/o cerrar algunos de sus contactos auxiliares y a través de éstos mandar alguna señalización.

6.1.- LIMITES DE LA PROTECCION Y ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE ESQUEMAS DE PROTECCION.

En los sistemas eléctricos de potencia se pueden establecer esquemas que protejan al máximo el equipo, pero esto podría traer graves consecuencias tales como: tener un esquema de protecciones muy complejo, lo cual podría causar paros innecesarios, inestabilidad e inflexibilidad al sistema, además resultaría muy costoso. Por otro lado se podría pedir el equipo sobredimensionado, y aun así tendría que diseñarse un esquema de protecciones para dicho equipo por lo que también resultaría antieconómico hacer esto.

Para que exista una protección selectiva, se debe contar con un esquema de protecciones, que sea capaz de detectar cada una de las fallas que se presenten, para esto se debe contar con protecciones primarias y de respaldo, además debe de discriminar cuando se trate de una falla o un transitorio. Para poder valorar y decidir sobre la utilización de un dispositivo o relevador de protección, es necesario conocer, la posible falla de ocurrencia, los efectos y daños que ocasionarían al equipo protegido.

En cuanto al diseño y construcción de la subestación, así como en el diseño del esquema de protecciones se dan las siguientes recomendaciones:

1.- Se deben incluir dispositivos para reducir los efectos de la falla (*Aterrizando el neutro del transformador a través de una resistencia, con esto se logra limitar la corriente de corto-circuito monofásica, *Utilización de fusibles limitadores de corriente o relevadores de operación instantáneos, con esto se logra tener una desconexión rápida del equipo fallado, en caso de que suceda una falla franco).

2.- Se deben impedir al máximo las fallas (seleccionando material y equipo adecuados, cumplir con las normas de seguridad recomendadas, realizar bien los trabajos en construcción, cuando se trate de hacer empalmes y conexiones que se realicen bien, en cuanto al tendido y Jalado de cables que se realice con mucho cuidado, en fin otros aspectos que no se le den mucha importancia y que sin embargo provocan las fallas).

3.- En cuanto al diseño del esquema de protecciones, se tratare que el equipo a protegerse, tenga una protección primaria y una de respaldo. La protección primaria es la primera que debe operar, si esta falla, ya sea porque faltó la alimentación de corriente directa en el circuito de disparo, o porque falló el mecanismo de operación del interruptor, o porque el relevador no haya "visto" la falla, entonces opera la protección de respaldo.

4.-El equipo debe ser sensible para que opere en forma segura cuando sea necesario, además debe de discriminar si se trata de una falla o si es un transitorio, en caso de que se trate de una falla, dependiendo de la severidad de esta, será su operación que puede ser rápida o con un tiempo de retardo.

5.- El esquema de protecciones por relevadores debe ser selectivo, es decir que cuando ocurra una falla en el equipo que esta siendo protegido, solamente este sea desconectado. La sensibilidad y la selectividad son esenciales para que disparen los interruptores adecuados.

Protección del motor: Para el caso en particular, se hará una adecuada selección y coordinación de protecciones, de tal manera, que se aislen oportunamente las fallas internas del motor, manteniendo a un mínimo los daños y efectos provocados por los mismos. Para lograrlo se aplicarán los siguientes relevadores y equipo de protección:

- a).-Contactor
- b).-Protección por bajo voltaje (27)
- c).-Relevador térmico (49)
- d).-Relevador de desbalance de corrientes (46)
- e).-Relevador contra sobrecorriente de fases, con característica de tiempo (51)

- f).-Relevador de sobrecorriente por fallas a tierra con característica de operación instantánea (50G).
- g).-Protección por Pérdida de campo de excitación.

6.2.-ARRANCADORES DE MOTORES EN BAJA TENSION.

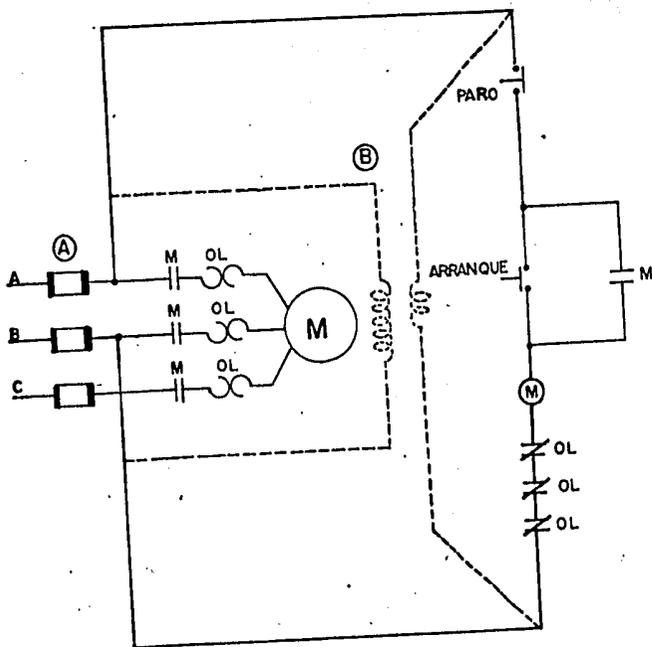
Este tipo de arrancadores, consiste de un contactor operado magnéticamente y de relevadores de sobrecarga. Una señal de control, normalmente a 127 V ac, energizando la bobina de retención del contactor, la cual mantiene cerrado al mismo. Si dicha bobina se desenergiza, el contactor se abre (ver Fig.6.1). Alternativamente el motor podría ser controlado automáticamente, por una gran cantidad de elementos de control, que pueden ser: interruptores de límite, de presión, relevadores de control, Etc.

La corriente de arranque del motor puede ser de 4 a 6 veces su corriente nominal, esta corriente de arranque disminuye gradualmente hasta que el motor alcanza su velocidad de operación (velocidad sincrona menos el deslizamiento). El motor, el contactor y la línea de suministro, son diseñados para manejar la máxima corriente durante el tiempo que tarda el motor hasta alcanzar su velocidad de operación. Este tiempo depende de la inercia del motor, de su carga, del diseño de la Jaula de ardilla del rotor y de la magnitud de la carga, podría también ser afectado por la caída de tensión en el suministro, debida a la corriente de arranque del motor. La corriente del motor varía como varía la carga.

La protección contra sobrecargas la realizan los relevadores de sobrecarga térmica, los cuales estan dentro del mismo arrancador. Estos relevadores, son elementos bimetalicos, uno por fase, los cuales al sobrecalentarse por una sobrecarga sostenida del motor, abren los contactos que estan en serie con la bobina de retención, abriendo al contactor. Estos relevadores permiten la corriente de arranque, para el tiempo de arranque esperado, sin causar que el contactor abra. Se cuenta con una gran variedad de relevadores de este tipo, los cuales pueden ser seleccionados para cada aplicación. Si por alguna razón el tiempo de arranque del motor aumenta, esta corriente fluye por los relevadores de sobrecarga, los cuales operan.

La protección por baja-tensión, es suministrada inherentemente por la bobina de retención. Una baja-tensión de suministro, causa una disminución de la velocidad del motor y un aumento de la corriente nominal. Una baja-tensión en la bobina, causa una baja corriente en la misma, ocasionando que el contactor abra.

Los contactos del contactor estan diseñados para interrumpir varias veces la corriente nominal. Algo muy importante es que no estan diseñados para interrumpir fuertes sobrecargas o corrientes de corto-circuito, por lo tanto, se combinan con fusibles o con un interruptor termomagnético, para proveer esta protección.



- Ⓐ PODRIA UTILIZARZE INT. TERMOMAGNETICO.
- Ⓑ ALTERNATIVA DE UN TRANSFORMADOR PARA BAJAR LA TENSION DE CONTROL.

Fig. 6.1.-Esquema típico de control de motores en baja tensión.

**TAMAÑOS DE ARRANCADORES PARA MOTORES EN BAJA-TENSION
CLASIFICADOS POR NEMA.**

Capacidad de motores trifásicos. (HP).				Capacidad de motores monofásicos. (HP).			
Tamaño	110V	220V	440/550V	115V	230V	440/550V	AMPS.
00	0.75	1.50	2.0	0.5	1.0	---	9.0
0	2.0	3.0	5.0	1.0	2.0	3.0	18.0
1	3.0	7.5	10.0	2.0	3.0	5.0	27.0
2	7.5	15.0	25.0	3.0	7.5	10.0	45.0
3	15.0	30.0	50.0	7.5	15.0	25.0	90.0
4	25.0	50.0	100.0	---	---	---	135.0
5	---	100.0	200.0	---	---	---	270.0
6	---	200.0	400.0	---	---	---	640.0
7	---	300.0	600.0	---	---	---	810.0
8	---	450.0	900.0	---	---	---	1215.0
9	---	800.0	1600.0	---	---	---	2250.0

El tamaño del arrancador es seleccionado de acuerdo a la capacidad y tensión nominal del motor.

CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.- es un gabinete que está diseñado de tal manera, que se ensamblan perfectamente los arrancadores de baja-tensión, dicho gabinete puede localizarse en una área adyacente a la planta. Son varias las ventajas que se tienen al tener los controladores de motores en un sólo gabinete, las principales son:

- la fácil localización de fallas.
- se puede dar el adecuado mantenimiento, sin ocasionar disturbios en la operación de otras máquinas.
- se evita la instalación de dichos arrancadores en lugares peligrosos.

Esquemas de bloqueo son diseñados y utilizados en los centros de control de motores, para evitar al máximo los choques eléctricos.

6.3.- USO DEL ARRANCADOR O INTERRUPTOR PARA EL ARRANQUE DE MOTORES

EN ALTA TENSION.

Cuando en el lenguaje común de proyectos electroindustriales se habla de motores de alta tensión, estrictamente se está hablando de motores de mediana tensión (2.4, 4.16, 6.9 o 13.2 kv) que generalmente son de capacidades mayores a 400 H.P.. Por lo tanto, los arrancadores que corresponde usar para este tipo de motores son los de tensión media (por ejemplo el contactor tipo 3TL51) mientras que los clasificados por NEMA quedan fuera de toda utilidad aún cuando la capacidad del motor caiga dentro de alguno de los arrancadores tales como el -- NEMA 7, 8 o 9 estos son inaplicables por que son para baja tensión.

Es importante hacer notar que un motor de tensión media es considerablemente más costoso que otro de igual potencia de baja tensión por lo que el primero tiene requerimientos de protección que van más allá de las posibilidades de un arrancador de baja tensión.

En la selección de arrancadores para motores de alta tensión se puede optar por:

CONTROLADOR.- Que es una combinación de contactor-fusible, es utilizado donde los motores son arrancados y parados frecuentemente, es decir, en instalaciones -- tales como refineries, fábricas e industrias minero siderurgicas.

INTERRUPTOR DE POTENCIA.- Se usa donde los motores permanecen en operación continua durante períodos superiores a -- una semana. Las ventajas de la utilización del interruptor de potencia obedecen a que esta diseñado para interrumpir corrientes de corto-circuito y recerrar inmediatamente después de haberse librado la falla, su desventaja consiste en que el mecanismo -- de contacto no está diseñado para un gran número -- de operaciones. Otra diferencia entre el contactor y el interruptor de potencia es que el primero se mantiene cerrado debido a la corriente continua -- que fluye a través de la bobina de operación (su--jeción), mientras que el segundo, una vez cerrado, se mantiene así por medio de un trinquete mecánico y se abre cuando se energiza su bobina de disparo y destraba el mecanismo de trinquete, liberando -- la energía mecánica almacenada para la apertura de los contactos. Finalmente, algo que también representa una desventaja para el interruptor es que su costo es superior al del contactor.

La protección para los motores de alta tensión se realiza mediante una combinación de relevadores de protección, los cuales son seleccionados de acuerdo a la aplicación del motor. El mismo tipo de relevador puede usarse tanto para interruptor como para contactor. Cuando algún relevador detecta que los límites eléctricos o (por analogía) - mecánicos son rebasados, opera y energiza la bobina de disparo del interruptor o interrumpe la corriente de la bobina de operación del contactor. En cualquier caso, la corriente que alimenta al motor es interrumpida.

La combinación contactor-fusible para motores de alta tensión -- tiene dispositivos para conectar y desconectar al mismo de la línea -- y lo protege de condiciones eléctricas anormales. El equipo es un gabinete completo, que está dividido en un compartimiento de alta tensión -- que contiene el contactor y los fusibles de protección, y un compartimiento de baja tensión donde se encuentran alojados los relevadores -- de protección.

La tensión de alimentación para los relevadores de control puede ser de 127 o 230 VAC o bien 48,125 o 250 VDC. Si se utiliza tensión de CA para los relevadores de protección, entonces se incluye un rectificador para suministrar energía de CD para la bobina de operación del contactor.

El contactor consiste de tres contactos estacionarios y tres contactos móviles, uno por fase. Los tres juegos de contactos cierran simultáneamente y se mantienen así por la energización de la bobina y -- cuando esta es desenergizada los contactos se separan por la acción -- de un resorte.

Un contactor típico puede ser operado 50 000 veces entre cada -- mantenimiento, sin embargo debiera ser inspeccionado y/o sometido a mantenimiento en intervalos que dependerán de la severidad de la aplicación. En particular, podría ser inspeccionado después de abrir varias veces con la corriente de arranque del motor, y después de una corriente de corto-circuito.

Los arrancadores para motores de alta tensión son diseñados para una fácil inspección, son fácilmente sacados del gabinete por medio de ruedas o rieles especialmente provistos para tal objeto. Por supuesto la inspección se realiza con el interruptor fuera del gabinete. Contactos gastados o picados pueden ser fácilmente removidos y ajustados, además se cuenta con mecanismos de bloqueo para asegurar que el contactor no pueda ser sacado mientras está circulando la corriente del motor y que el gabinete no pueda ser abierto mientras el arrancador está energizado.

El contactor no es capaz de interrumpir la corriente de corto -- circuito, si se le diera una mala aplicación y sucediera lo anterior sus contactos podrían fundirse, por esta razón, se protege con fusibles limitadores de corriente de operación rápida. Dichos fusibles, que son del tipo de listón de plata rodeado de arena, interrumpen la corriente de corto circuito antes que alcance su primer pico (antes de 5 milisegundos), lo cual reduce drásticamente la cantidad de energía térmica que en su defecto tendría que ser absorbida por el contactor.

La utilización de este tipo de fusibles como elementos de protección trae consigo las siguientes ventajas:

- 1.- Los contactores, transformadores, cables y equipos no necesitan estar dimensionados más que para resistir los efectos electro-

dinámicos causados por la corriente de fusión de los fusibles durante un tiempo menor a 5 milisegundos.

2.- En la caja de terminales del motor es factible una falla -- provoque evaporación de las partes metálicas y en ocasiones la formación de gases explosivos que pueden dar lugar a una explosión si la protección tarda en operar. Con los fusibles se reduce esta posibilidad.

Es importante la correcta selección de estos fusibles a fin de de obtener una protección eficiente.

SELECCION DE FUSIBLES PARA LA PROTECCION DE MOTORES

Los elementos básicos a conocer para una adecuada selección son: Corrientes nominal y de arranque del motor así como su tiempo de arranque, conocido esto es posible seleccionar combinando los parámetros del motor con las curvas características de fusión de los fusibles (Fig. 6.2), teniendo en cuenta que el fusible no debe operar durante el período de arranque ni tampoco en caso de sobrecarga del motor.

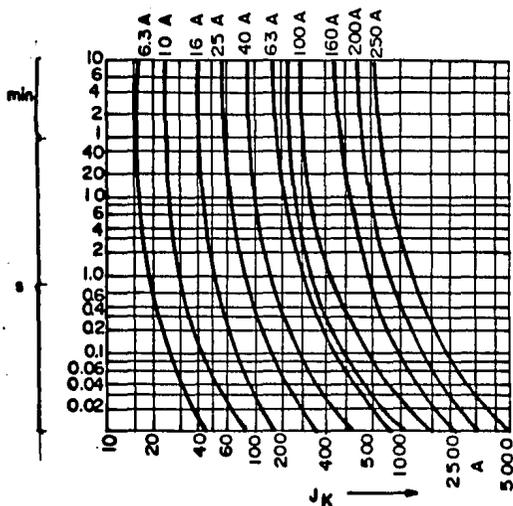


Fig. 6.2.- Curva característica de fusión

El fusible debe operar en caso de corto-circuitos cuya intensidad sobrepase la capacidad admisible de desconexión del contactor.

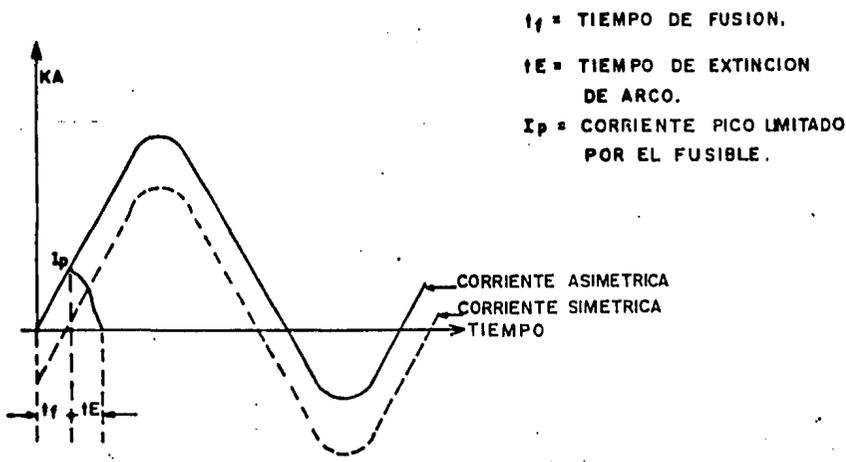


Fig. 6.3.-Limitación de corriente de un fusible limitador.

Una limitación del uso de fusibles es que podría ocurrir una falla monofásica; fundirse solo ese fusible y el motor continuar operando con las dos fases sanas. La corriente en esas fases es dos veces la corriente de plena carga y rápidamente sobrecalentaría al motor. Esto puede ser resuelto con el uso de un relevador, además el arrancador podría incluir un mecanismo de disparo actuado por el mismo fusible fundido. El mecanismo de apertura manda inmediata apertura del contactor para aislar el motor.

CONTACTOR EN VACIO

El empleo de los tubos de vacío para extinguir arcos voltáicos ha permitido diseñar un contactor de dimensiones y peso reducidos, que casi no requiere de mantenimiento y cuya vida útil es mayor que la de los contactores convencionales.

Cuando abre dicho contactor, aparece un arco entre sus contactos mismo que se extingue al llegar la corriente a cero. A consecuencia del vacío que reina en los tubos, no existen las partículas libres ionizadas necesarias para mantener el arco y solamente se sos-

tiene debido a las partículas de metal que se desprenden de los contactos por el efecto del calor que se presenta, tales partículas se condensan sobre la superficie de contacto una vez extinguido el arco por lo que el desgaste en los mismos es muy pequeño.

Para tener una idea de la distancia entre contactos de los contactores en vacío:

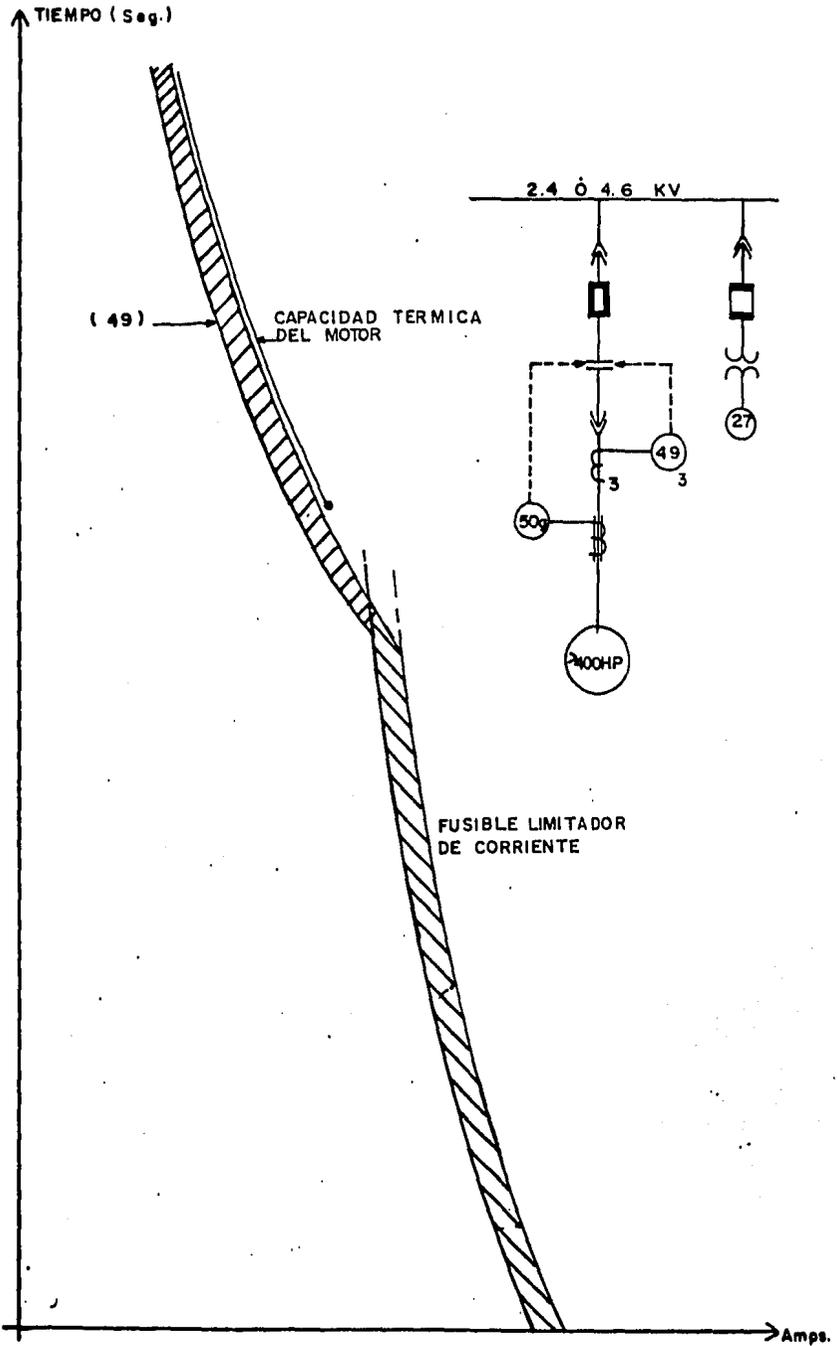
- a) La distancia entre contactos de contactores de 3 KV es 3 mm.
 - b) la distancia entre contactos de contactores de 6 KV es 6mm
- Lo cual implica tiempos muy cortos de operación.

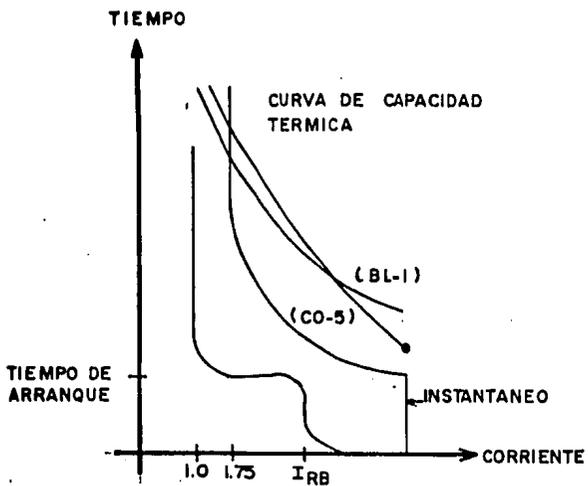
El último control adicional requerido es un bloqueo para asegurar que los contactos no cierren cuando haya pérdida de vacío.

El contactor en vacío se utiliza para el control de motores, de hornos eléctricos, condensadores y transformadores. Y los hay para conectar y desconectar corrientes hasta de 3 000 amperes. Como ejemplo se presentan algunos datos de los contactores de vacío tipo 3TL50 y 3TL51.

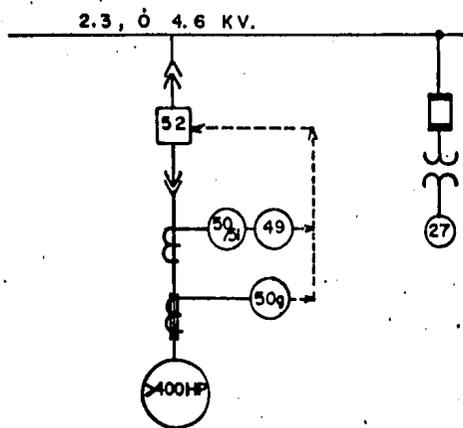
DATOS DE CONTACTORES DE VACIO:

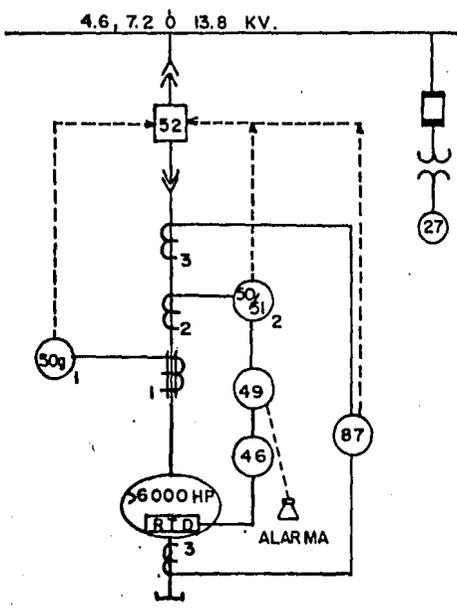
DESCRIPCION	3TL50	3TL51
Tensión nominal según norma VDE 0660	3 kV	6kV
Tensión nominal según norma IEC	3.6 kV	7.2 kV
Corriente nominal	400 A	400 A
Potencia máxima	1300 kW	2600 kW
I máxima de desconexión ...	3000 A	3000 A
I máxima de conexión	3000 A	3000 A
I máxima de desconexión para condensadores	300 A	300 A
Protección de corto-circuito para corrientes interrumpidas de la red de hasta 63 kA RMS.	Fusibles de alta capacidad interruptiva, con una corriente de fusión menor a 64 kA (kA cresta).	
Vida útil mecánica según norma VDE 0660	5'000,000	5'000,000
	de maniobras	de maniobras
Vida útil eléctrica del tubo de vacío	1'000,000	1'000,000
	de maniobras	de maniobras
Retardo del cierre	14-48 mses	14-48 mses
Retardo de apertura	21-24 mses	21-24 mses





I_{RB} = CORRIENTE A ROTOR BLOQUEADO





6.4.- PROTECCIONES DEL MOTOR

Consideraciones básicas para la protección del motor.

a).-Características del motor:

Incluyen tipo, velocidad, voltaje, capacidad, factor de servicio, factor de potencia, tipo de lubricación, conexiones de devanados y sus límites de temperatura, capacidades térmicas del rotor y del estator durante el arranque y condiciones normales de operación.

b).-Condiciones de arranque del motor:

Aquí se considera si es a tensión plena o reducida, la caída de tensión y grado de transitorio durante el arranque, arranques repetitivos, frecuencia y número total de arranques.

c).-Condiciones ambientales:

Máxima y mínima temperatura, fuentes de calor adyacentes, tipo de ventilación, exposición al agua y agentes químicos.

d).-Arreglo de la subestación:

Tipo de sistema a tierra, exposición a sobretensiones por interrupción y descargas atmosféricas, capacidad de cortocircuito, arreglo con recierre automático o interruptor de transferencia, posibilidad de suministro de una fase y otras cargas que podrían causar una tensión desbalanceada.

e).-Importancia del motor:

Costo del motor, costo de una posible interrupción, mantenimiento y supervisión de la operación del motor, facilidad y costo de reparación deben ser evaluados.

6.4.a).-COMBINACION DE CONTACTOR MAGNETICO-FUSIBLES

Los fusibles usan elementos de plata sumersidos en cuarzo granulado como medio de extinción del arco.

El contactor en vacío es una unidad compacta, silenciosa y que requiere una fuerza magnética mínima para su operación. El mecanismo de cierre es una unidad magnéticamente sostenida que consiste de una armadura y una bobina de corriente directa que proporciona una operación eficiente y prácticamente exenta de falla.

El conjunto completo del contactor viene con los fusibles principales, transformador de control y fusibles del transformador de control. Todo el conjunto esta montado en un carro removible.

Selección de la combinación contactor-fusibles.

Para lograr una protección del motor y sus dispositivos de desconexión se deberá hacer una coordinación entre fusibles, contactor y relevadores de protección.

El motor quedará protegido contra:

- 1).-Sobrecargas sostenidas.
- 2).-Rotor bloqueado.
- 3).-Fallas de baja magnitud que se encuentran dentro de la capacidad interruptiva del contactor (menores de 3000 AMPS)
- 4).-Altas corrientes de cortocircuito (fallas francas)
- 5).-Pérdidas de una o dos fases.
- 6).-Baja tensión
- 7).-Pérdida de excitación.

Para seleccionar los fusibles, se toman en cuenta la corriente de arranque del motor, el tiempo de aceleración, el número de arranques por hora, la capacidad térmica, la corriente de cortocircuito monofásica y trifásica y las figuras 6.5 y 6.6.

La capacidad del fusible seleccionado debiera permitir la sobrecarga del motor a un valor de 15%.

La corriente de arranque del motor es de 1386 Amps, el tiempo de arranque es de 8 s, y se consideran dos arranques por hora. Interpolando en las figuras 6.5 y 6.6 se selecciona el fusible 18R.

La capacidad térmica del contactor (I^2t) es 20×10^6 (AMPS)²XS, Por lo tanto, se debe seleccionar un fusible o una protección que opere antes de alcanzarse el límite de capacidad térmica del contactor. En la selección del fusible debe tenerse cuidado con la porción de la curva del mismo para valores de corriente arriba de la capacidad interruptiva del contactor ($3000 \text{ Amps} < I_{cc} < 6000 \text{ Amps}$).

Para obtener valores de I^2t para corrientes arriba de la capacidad interruptiva del contactor se multiplica el valor de la corriente en Particular al cuadrado por el tiempo de operación del fusible (en s); el producto no deberá exceder de $20 \times 10^6 \text{ Amps}^2 \text{xs}$. Si el contactor abre por alguna razón mientras sostiene una corriente por arriba de su capacidad interruptiva, las botellas al vacío podran resistir solo el valor limite I^2t sin sufrir daños, después de ese valor los daños podran repercutir en el contactor.

4.b).-PROTECCION DE BAJO VOLTAJE.- En el caso particular en que el motor está controlado por un contactor, la energía se mantiene gracias a la acción electromagnética alimentada por la misma línea que alimenta al motor, entonces inherentemente se encuentra el motor protegido de bajadas de voltaje mas allá del valor de voltaje de DROP-OUT de la bobina del contactor. Además se tiene la posibilidad de seleccionar contactores con operación de apertura instantánea y con retardo. En nuestro caso se utilizó la apertura instantánea, por las siguientes razones:

a).- Porque nuestra corriente de cortocircuito monofasica en la subestación es suficientemente baja (menor a 400 amperes) y en caso de falla en cualquiera de las unidades conectadas a los buses mas cercanos no llegara a bajar el voltaje hasta el drop-out de la bobina del contactor del motor síncrono por lo que las salidas no deseadas por falla en motores vecinos no representan un problema.

Así pues, siendo el esquema de contactor de operación instantánea mas económica por la ausencia del capacitor en paralelo con la bobina y no tenemos necesidad de operar con retardo, podemos utilizarlo teniendo como ganancia adicional una disminucion del tiempo en que el equipo se mantiene sometido a la falla cuando son las protecciones de cualquier tipo hayan operado.

Cuando es el caso, se prefiere tambien la bobina de accionamiento instantáneo en subestaciones que cuentan con sistemas de transferencia o recierre muy rápidos para que el motor sea disparado antes de que suceda la transferencia o el recierre.

b).- Las altas corrientes en caso de falla bifasica o trifasica nos asegura que los fusibles se funden antes de que el contactor abra aun cuando lo haga en el esquema instantaneo.

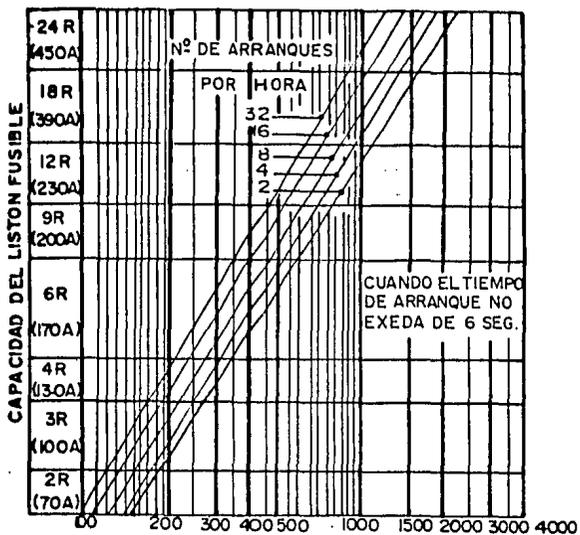


fig. 6.5: CORRIENTE DE ARRANQUE DEL MOTOR EN AMPS.

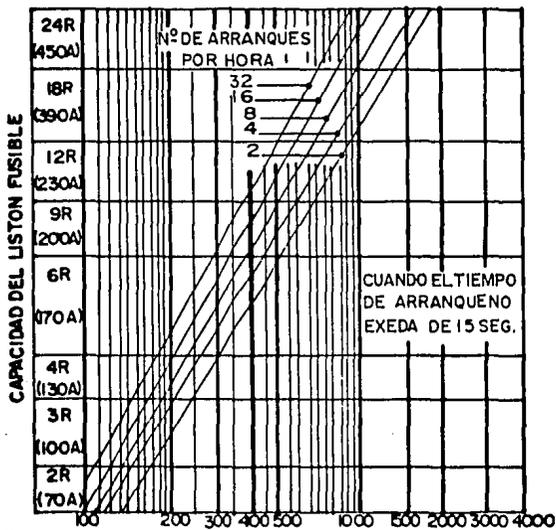


fig. 6.6: CORRIENTE DE ARRANQUE DEL MOTOR EN AMPS.

4.c).-RELEVADOR TERMICO (49).- Este relevador proporciona una protección térmica completa a los motores trifásicos tanto de inducción - como síncronos. La curva de operación térmica del relé se coordina - con precisión con la curva de la capacidad térmica del motor, - por lo tanto los motores quedan correctamente protegidos sin recurrir a Paros innecesarios.

La característica térmica del relevador es confiable hasta un valor igual a diez veces el de la corriente de pick-up.

Si la operación del motor se llega a interrumpir por la acción del relé térmico, el motor no podrá rearmarse hasta que el relé haya sido restablecido y esto sucedera hasta que haya transcurrido un tiempo proporcional a la sobrecarga durante el cual se logra el enfriamiento correspondiente del motor.

La tolerancia de sobrecarga del motor depende de su diseño. El riesgo de daño depende de la temperatura y se estima que la vida del aislamiento se disminuye aproximadamente a la mitad por cada 8 grados de sobre-elevación de temperatura continua arriba de la temperatura de operación para la que la unidad fue diseñada y en periodos cortos el efecto disminuye.

6.4.d).-PROTECCION CONTRA DESBALANCE DE CORRIENTES

Este relevador opera a corriente de secuencia negativa y se utiliza para protección de motores con tensión desbalanceada, el efecto es tal que circulan corrientes parásitas (de eddy) a dos veces la frecuencia nominal en la superficie del rotor y daña a los devanados por exceso de temperatura.

Para desconectar el motor antes de que se alcance una sobre-temperatura y para prevenir un disparo innecesario, la característica de tiempo-corriente ($I_2^2 t = K$) del motor se combina con la del relevador.

La tensión de suministro a un motor trifásico puede estar -- desbalanceada por lo siguiente:

- a).-El sistema de distribución alimenta cargas monofasicas muy fuertes.
- b).-Por imperfecta transposición de alimentadores.
- c).-Por perdida de una o dos fases del suministro.

La pérdida de una fase en el suministro es un caso extremo de desbalance y esto ocasiona un alto nivel de corriente de secuencia negativa. Cuando el motor opera a un 50% de su capacidad nominal, la corriente se incrementa en las líneas sanas pero no llega a un valor suficiente para hacer operar el relé térmico o el relé de sobrecorriente con característica de tiempo. Por lo tanto, la falla tendrá que ser librada por el relé de secuencia negativa. A altas cargas, tendremos una componente de secuencia negativa mayor, operará la unidad instantánea del relé de secuencia negativa. El sobrecalentamiento del rotor puede ser extremadamente rápido, esto sucede particularmente cuando el motor para y el calentamiento se concentra en una sola sección del rotor. La protección contra la elevación súbita de temperatura en un motor, debido a la pérdida de una fase, la realiza el relé de desbalance instantáneo, insistimos que este relé responde sólo a corrientes desbalanceadas y se calibra normalmente para operar a una corriente menor a la corriente de arranque del motor.

Por otro lado, cuando la alimentación del motor esta desbalanceada aparece un voltaje de secuencia negativa y causa que corrientes anormales fluyan en el rotor. La impedancia de secuencia negativa del motor es aproximadamente igual a la de rotor bloqueado y por lo tanto, un pequeño voltaje de secuencia negativa produce una alta corriente de la misma secuencia.

Esta protección es deseable para todos los motores que por su importancia y costo se justifique. Una recomendación general es que se debe aplicar a todos los motores de 1000 H.P. y mayores.

RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

Entre las protecciones del motor se recomienda el relevador de sobrecorriente de fase instantáneo (50). El propósito de su utilización es librar rápidamente la falla cuando se presentan corrientes de cortocircuito muy elevadas.

En nuestro caso particular no es necesario el uso de esta unidad dado que se cuenta con fusibles limitadores de corriente - los cuales se fundirán cuando se presenten corrientes de cortocircuito muy elevadas y como respaldo se tiene el relevador de sobrecorriente de fase con unidades de tiempo e instantánea (50/51)H, que opera el interruptor del lado de baja del transformador de potencia.

6.4.e).-RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE FASE CON CARACTERISTICA DE TIEMPO (51).- Este relevador detecta:

- a).- Fallas de velocidad y aceleración en el intervalo de arranque del motor.
- b).- Condiciones de rotor bloqueado.
- c).- Condiciones de falla de baja magnitud.

Cuando opera este relevador por alguna de las condiciones señaladas anteriormente, manda desenergizar la bobina del contactor para abrirlo y librar así la falla.

6.4.f).-RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE POR FALLAS A TIERRA, DE OPERACION INSTANTANEA (50 G).

Adicionalmente, dentro de las protecciones recomendadas para el motor se encuentra el relevador de sobrecorriente instantánea por falla a tierra (50G o 50N), el cual actúa para el libramiento de la falla inmediatamente después de que ésta se presenta.

El 50G que es alimentado a través de un transformador de corriente de secuencia cero tipo ventana, está normalmente calibrado para disparo a un rango de corriente de falla a tierra primaria de 5 a 20 amperes.

El 50N, que es alimentado residualmente desde tres transformadores de corriente no resulta del todo efectivo donde pueden presentarse altas corrientes de fase (debido, por ejemplo, a corrientes de arranque del motor o fallas de fase), ya que podría causar saturación desigual de los transformadores de corriente y producir falsas corrientes residuales, dando como resultado disparos no deseados.

En particular, para la protección de nuestro motor y recordando que el contactor no tiene capacidad para abrir cuando se presentan corrientes de falla extremadamente altas por un lado, y por otro en nuestro sistema se tiene baja corriente de falla a tierra (menor a 400 Amps), por tales razones fundamentalmente, se llegó a la conclusión de que el 50N no satisface nuestras necesidades de protección por lo que simplemente utilizaremos el relevador de sobrecorriente de falla a tierra instantáneo (50g). Cuando se trate de falla entre fases a tierra, podemos asegurar que (debido a las altas corrientes que se presentan en dicho caso) los fusibles limitadores de corriente se fundirán antes de que el contactor abra.

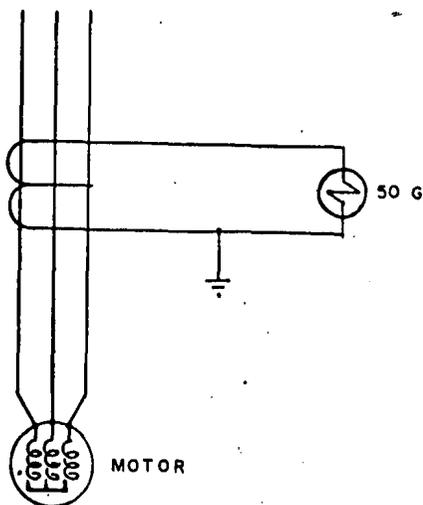


Fig. 6.4.-Protección de sobrecorriente a tierra usando un transformador tipo ventana

Otra de las protecciones recomendadas es la diferencial pero en este caso no se justifica por lo siguiente :

- a).- Se cuenta con una adecuada protección contra fallas a tierra, (relevador 50G).
- b).- Para falla entre fases, cuenta con una alta capacidad de corto - circuito por lo tanto queda muy bien protegido el motor (fusibles limitadores de corriente como protección primaria, relevador (50/S1)B el cual dispara al interruptor Int.2 como respaldo).
- c).- No se justifica económicamente, porque el costo de la protección diferencial resulta relativamente elevado comparado con el costo del motor.

6.4.d).-PROTECCION POR PERDIDA DE CAMPO DE EXCITACION

En este caso se cuenta con un relevador de tensión usado como un permisivo para el arranque y la operación del motor, en el caso de que no se disponga de voltaje de CD para la alimentación de campo se inhibe el arranque del motor, cuando el motor esta en operación y por alguna causa ocurre una pérdida de excitación, el relevador de tensión de CD operará y mandará la desenergización de la bobina de operación del contactor, abriendo este último.

SEÑALIZACION POR FALLA A TIERRA DE LA CORRIENTE DE CAMPO

El circuito de campo esta aislado de tierra, por lo tanto la señalización en el caso de la existencia de una falla a tierra se lleva a cabo a través de lámparas indicadoras.

7.- PROTECCIONES Y ACCESORIOS DEL TRANSFORMADOR

En este capítulo se describen las protecciones y los accesorios más importantes del transformador, en el caso de las protecciones, se hará el señalamiento sin profundizar en la descripción cuando éstas ya hayan sido descritas por usarse en la protección del motor.

PROTECCION DE SOBRECORRIENTE

La protección detecta altas corrientes causadas por falla en el transformador o el bus de Baja Tensión y actúa como respaldo de la protección diferencial del transformador, cuando ésta existe. Consiste de tres relevadores de fase de sobrecorriente de tiempo definido e instantáneo montados en una sola unidad.

PROTECCION DIFERENCIAL

Detecta y libra fallas dentro del transformador, haciendo una discriminación de las fallas mediante el uso de bobinas de restricción de armónicas.

El relevador está provisto de un dispositivo que restringe las armónicas y de un elemento de restricción de corriente. La unidad de decisión controla un pequeño relevador tipo telefónico que proporciona los contactos de salida.

La restricción porcentual permite una adecuada discriminación entre fallas internas y fallas externas de alta corriente, mientras que la restricción de armónicas posibilita al relevador para distinguir entre una onda de corriente de falla y la corriente de excitación.

En general, el relevador consiste de una unidad para cada fase pero se tienen arreglos de fábrica para proteger unidades trifásicas y, en el caso particular de los transformadores, se tienen unidades que pueden proteger dos, tres o cuatro devanados. La relación de los transformadores de corriente y el tap de los relevadores deben seleccionarse en su valor mínimo a fin de obtener la máxima sensibilidad sin sobrecarga térmica del relevador o del TC.

NOTA: Al hacer la evaluación económica se decidió excluir esta protección dado que para el tamaño de nuestro transformador resulta antieconómico usarla.

PROTECCION CONTRA FALLA A TIERRA

Las fallas a tierra se detectan y se mandan librar mediante un relevador de sobrecorriente de tiempo corto 5IG que sensa la corriente que circula del neutro del transformador a tierra.

También opera como respaldo contra fallas a tierra en: el secundario del transformador (TR1), bus (2)B-4.16Kv y alimentadores.

VALVULA DE PRESION SUBITA

Cuando ocurre un arqueo o un cortocircuito en el transformador en aceite, es común que se susciten muy altas presiones en el interior del tanque debido a la acción de los gases formados por descomposición o evaporación del aceite. Para proteger al transformador de una posible explosión, la sobrepresión se limita a una magnitud que pueda soportar el tanque. Esto se puede lograr por medio de una valvula de alivio, la cual consiste, según puede apreciarse en la figura, de una pestaña de aluminio (1) con una cubierta (6), una valvula de disco (3), que es presionada mediante los empaques (4) y (5) por la fuerza de los resortes (7) y con el fin de contar con una indicación de que la valvula ha operado se cuenta con un contacto (9) y un indicador mecánico (8).

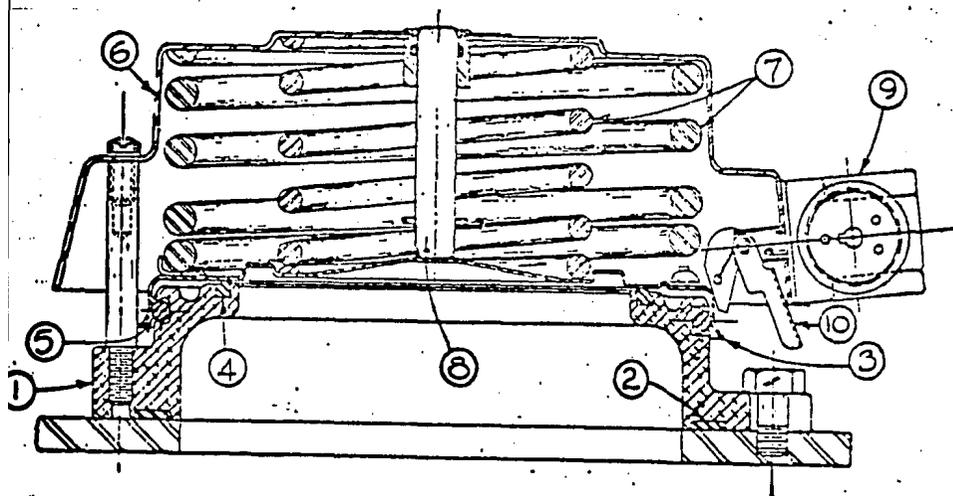
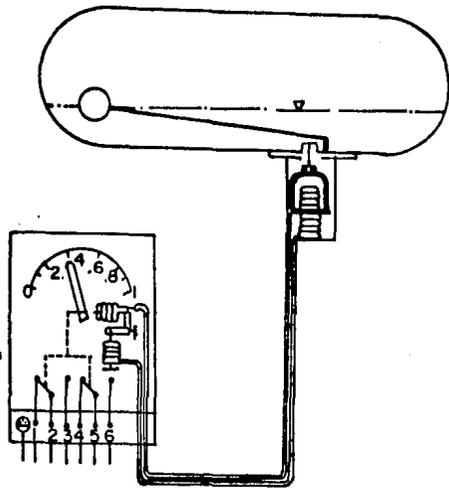


Fig. 7.1.-VALVULA DE SOBREPRESION



INDICADOR DE NIVEL

La pérdida de aceite en el transformador no debe rebasar cierto valor predeterminado, ya que de lo contrario se corre el riesgo de que los aislamientos sólidos fallen por falta de aceite. Por tal motivo es indispensable mantener una indicación del nivel de aceite en el interior del tanque del transformador. La indicación del nivel de aceite se mediante el dispositivo representado en la figura

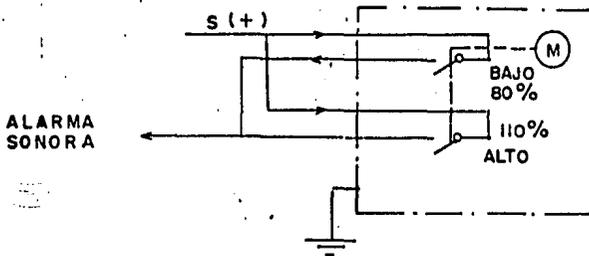


Fig. 7.2.-INDICADOR DEL NIVEL DE ACEITE

SENSORES DE TEMPERATURA

En condiciones tanto de falla como de operación normal, los elementos activos (núcleo-devanados) del transformador mantienen una constante disipación de calor y, consecuentemente, hay posibilidades de que la temperatura suba a un valor superior al tolerable ya sea debido a fallas en el equipo de disipación o a condiciones anormales de operación del transformador.

Por ello es necesario tener un dispositivo que nos indique el valor de la temperatura en el interior del tanque y envíe señales de alarma, de disparo o para el arranque del equipo auxiliar de enfriamiento en caso de haberlo. El esquema de éste equipo se muestra en la figura

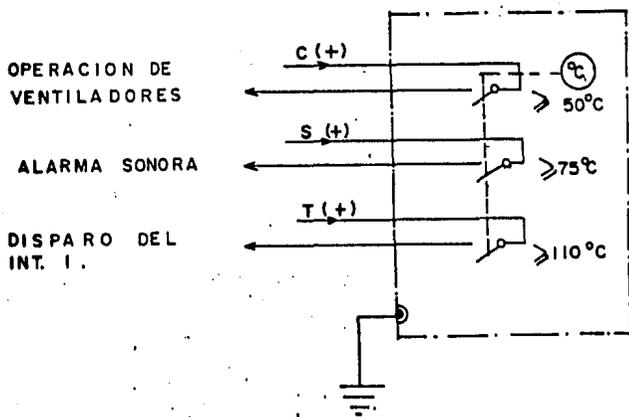


Fig. 7.3.-OPERACION DEL SENSOR DE TEMPERATURA

8.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

En los sistemas eléctricos de potencia de corriente alterna se manejan normalmente tensiones e intensidades de corriente considerablemente altas, debido a esto y con el propósito de proteger al personal, así como aislar eléctricamente los equipos primarios de los equipos de protección y medición, ya que estos últimos son alimentados por magnitudes proporcionalmente menores, que son fielmente reflejadas a través de los transformadores de instrumentos.

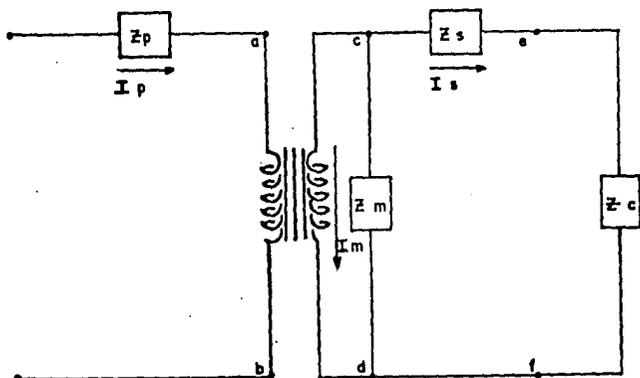
Con la relación de las magnitudes de corriente y de potencia se logra una disminución de capacidad y niveles de aislamiento y por lo tanto disminuye el costo del equipo.

Existen dos tipos de transformadores de instrumentos que son : transformadores de corriente (TC'S) y de potencial (TP'S).

8.1 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. - Son dispositivos que reducen una corriente primaria de cientos o miles de amperes a una corriente secundaria de rango 0 - 5 AMP, proporcional a ella. Permiten utilizar instrumentos de medición y relevadores con aislamiento a 600 Volts.

PRECAUCION .. El embobinado secundario de todo T.C. debe mantenerse siempre conectado a una carga de baja impedancia, si no existe carga para el secundario, las terminales secundarias deben conectarse en corto-circuito.

Los TC'S se modelan idealmente de la siguiente manera:



Z_p = Impedancia del devanado primario.

Z_s = Impedancia del devanado secundario.

Z_m = Impedancia de magnetización

Z_c = Impedancia de la carga (bobinas de corriente de los relevadores y equipo de medición).

I_p = Corriente primaria.

I_p/N = Corriente secundaria

I_m = Corriente de magnetización

I_s = Corriente que va a la carga

La Z_p es muy pequeña y el devanado primario se conecta en serie con la línea.

La Z_c es de magnitud pequeña que ofrece una oposición mínima al paso de la corriente y no sacar al TC de sus características de diseño.

8.1.1.- CONDICIONES ANORMALES DE OPERACION DEL TC

8.1.1.a.- Cuando la corriente primaria es muy alta, la corriente secundaria (IP/N) crecerá proporcionalmente, lo cual implica que I_m e I_s crecerán, al crecer I_m equivale a una disminución de Z_m (saturación del TC) lo cual provoca un retraso en la operación de las protecciones de sobrecorriente, además se presenta un calentamiento provocado por histéresis que si es prolongado daña al TC.

8.1.1.b.- Cuando crece la I_s y Z_c es de magnitud mayor a la que el TC puede alimentar, la tensión V_{cd} aumenta y por lo tanto I_m aumentara provocando un efecto similar al anterior.

8.1.1.c.- Cuando el circuito secundario esta abierto, la IP/N servirá para magnetizar a el núcleo, provocando que V_{cd} sea muy grande, lo cual provoca la ruptura del aislamiento entre espiras y algunas veces la explosión del TC.

8.1.2.- POLARIDAD

Corriente que entra por polaridad del TC (lado primario), sale por polaridad (lado secundario).

Segun la norma americana la designación de terminales es :

PRIMARIO

H1 - Polaridad
H2

SECUNDARIO

1o. X1 - Polaridad
X2
2o. Y1 - Polaridad
Y2
3o. Z1 - Polaridad
Z2
4o. W1 - Polaridad
W2

8.1.3.- CLASIFICACION DE PRECISION PARA PROTECCION (ANSI)

Esta indica la tensión máxima que puede dar el TC sobre su circuito secundario de carga sin exceder 10% de error, cuando se le aplica una sobrecorriente igual a 20 veces la corriente secundaria.

CLASE	POTENCIA(VA)	BURDEN(Ohms)
C10	2.5	0.1
C20	5.0	0.2
C50	12.5	0.5
C100	25.0	1.0
C200	50.0	2.0
C400	100.0	4.0
C800	200.0	8.0

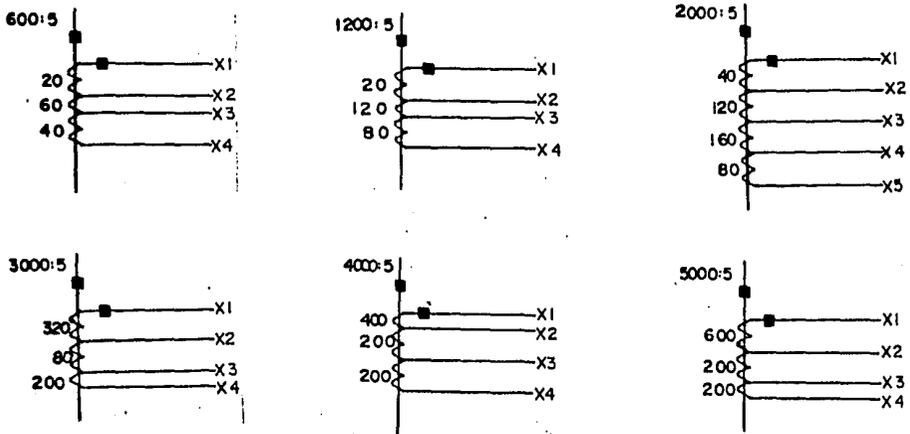
PRECAUCION.- En TC'S de bushings se indica generalmente la precisión de protección para el embobinado completo, si se opera a una derivación con menos vueltas, la precisión es menor.

8.1.4.-RELACIONES DE TRANSFORMACION ESTANDAR SEGUN ANSI PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

8.1.4.a.-PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EMOBINADOS

RELACION SENCILLA	RELACION DOBLE
10:5	25 ---- 50:5
15:5	50 --- 100:5
25:5	100 -- 200:5
40:5	200 -- 400:5
50:5	400 -- 800:5
75:5	600 - 1200:5
100:5	1000 - 2000:5
200:5	2000 - 4000:5
300:5	
400:5	
600:5	
800:5	
1200:5	
1500:5	
2000:5	
3000:5	
4000:5	
5000:5	
6000:5	
8000:5	
12000:5	

8.1.4.b. PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TIPO BUSHING



8.2 APLICACION DE LOS TC'S

Las consideraciones generales para la aplicación de los TC'S son las que siguen :

8.2.1.- Tomar en cuenta la corriente que circulara permanentemente por el TC, mismo que se seleccionara de tal manera que permita circular una corriente igual o mayor a la del circuito donde se está usando. Una corriente secundaria de 3 o 4 Amperes, a plena carga es adecuada. Un transformador de corriente sobredimensionado, es indeseable porque se tiene un porcentaje de error mayor.

8.2.2.- Tomar en cuenta la capacidad térmica durante un tiempo corto, esta es con la corriente primaria simétrica (RMS), poniendo en corto circuito el devanado secundario durante 1 Segundo, el TC no debe exceder una temperatura especificada.

8.2.3.- Los TC'S son capaces de operar continuamente a un 10% arriba del voltaje primario. Los rangos de voltaje normal (clase de aislamiento) para aplicaciones industriales son: 600, 2500, 5000, 8700 y 15000 volts.

8.3 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP'S)

Sirven para reducir un voltaje de cualquier rango en el sistema de potencia a un voltaje de rango 0 - 120 Volts, proporcional a él. Con esto se normaliza el voltaje empleado en instrumentos de medición y relevadores. Aislan el circuito secundario (equipo de medición y protección) del circuito primario.

8.3.1.- TRANSFORMADORES DE POTENCIAL TIPO INDUCTIVO

8.3.1.a- TRANSFORMADORES DE POTENCIAL DE DOS BUSHINGS

Estos tienen el embobinado primario con aislamiento para su voltaje nominal. Suelen fabricarse con aislamiento sólido hasta 23 KV., para voltajes mayores se emplea aceite o aceite combinado con resina epóxica, se construyen para voltajes de hasta 115 KV., pero normalmente no se usan mas que hasta 34.5 KV. Estan hechos para conectarse en delta en el primario.

8.3.1.b TRANSFORMADORES DE POTENCIAL DE UN SOLO BUSHING

Estos tienen el embobinado primario con aislamiento graduado desde el voltaje pleno hasta 15 KV en el neutro. Estan hechos para ser usados en conexión estrella en el primario.

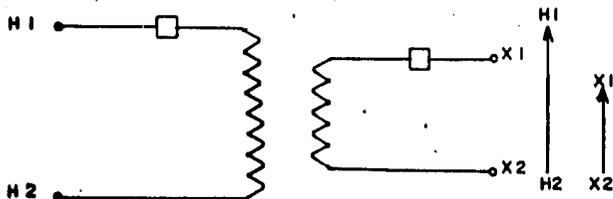
Se construyen para voltajes de 23 KV en adelante , pero se emplean habitualmente en 46 KV hacia arriba , normalmente tienen dos embobinados secundarios , uno de rango de 70 Volts y el otro de 120 Volts.

8.3.1.c POLARIDAD

Las marcas de polaridad de los TP'S se interpretan de manera idéntica que los transformadores de potencia .

Segun la norma americana la designacion de terminales es:

PRIMARIO	H1 Polaridad	
	H2	(HO) si es a tierra
	X1 Polaridad	
Secundarios	X2	Embobinado DE 70 Volts
	Y1 Polaridad	
	Y2	Embobinado de 120 Volts



8.3.1.d- CLASIFICACION DE PRECISION

La norma ANSI incluye tres clases de precisión para TP'S (0.3,0.6,1.2). Estos valores corresponden al porcentaje de error máximo a una carga estandar estipulada.

La variación de precisión de TP'S con el voltaje, es mínima dentro del rango normal de operación, de manera que suele probarse la precisión al voltaje nominal.

Segun el Burden la norma ANSI tiene los siguientes valores de cargas secundarias estandarizadas para TP'S.

designación	VA a 120 V	FP.	Z(ohms).
W	12.5	0.10	1152 \angle 84.26
X	25.0	0.70	576 \angle 45.57
Y	75.0	0.85	192 \angle 31.79
Z	200.0	0.85	72 \angle 31.79
ZZ	400.0	0.85	36 \angle 31.79

Segun la norma ANSI esta incluye tres clases de precisión para TP'S

8.3.1.e. RELACIONES DE TRANSFORMACION ESTANDAR (ANSI)

TP'S CON DOS BUSHINGS DELTA.

relacion nominal	relacion reducida	tension nominal del circuito
240-120	2	220
480-120	4	480
600-120	5	550
2400-120	20	2400
4200-120	35	4160
4800-120	40	4160
7200-120	60	6900
14400-120	120	13800
24000-120	200	23000
34500-115	300	34500
46000-115	400	46000
69000-115	600	69000

TP'S CON UN BUSHING (estrella)

relaciones nominales	relaciones nominales	Tensión Nominal del circuito (KV)
14400:120:72.00	120:200	23.00
20125:115:67.08	175:300	34.5
27600:115:69.00	240:400	46.0
40250:115:67.08	350:600	69.0
69000:115:69.00	600:1000	115.0
80500:115:67.08	700:120	138.0
92000:115:65.71	800:1400	161.0
138000:115:69.00	1200:2000	230.0

8.3.2. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL TIPO CAPACITIVO

Los TP'S capacitivos son propiamente divisores de potencial, tienen un solo bushing, se emplean por economía desde 220 KV en adelante, sin embargo en el caso de requerirse sistemas carrier pueden utilizarse desde 115 KV.

Estos TP'S no lleva fusibles en el primario, se conectan sólidamente y en el secundario llevan un solo fusible por fase.

8.3.2.a RELACIONES DE TRANSFORMACION ESTANDAR (ANSI) PARA TP'S CAPACITIVOS

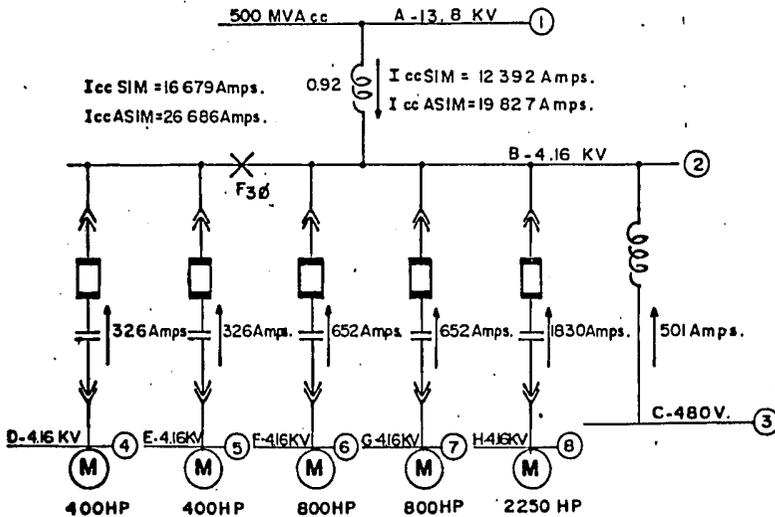
relaciones nominales	relaciones reducidas	tension entre fases (KV)
64400:115:66.40	577:1000	115
79700:115:66.40	693:1200	138
93000:115:66.40	808:1400	161
133000:115:66.40	1154:2000	230
231000:120:69.28	2020:3500	400

9.- MEMORIA DE CALCULO

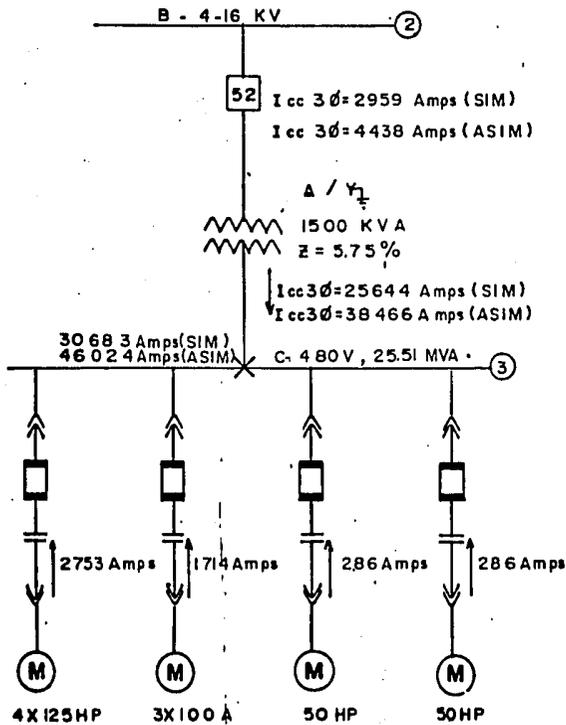
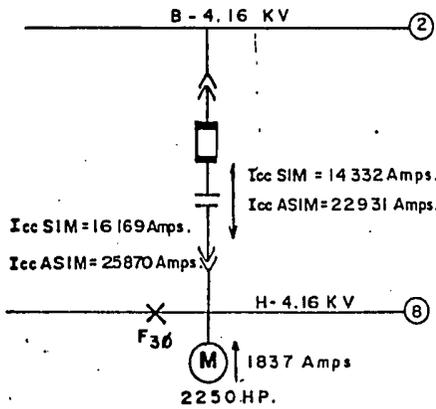
--ANALISIS DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

BUS	CAP. DE CORTO CIRCUITO(MVA).	CAPACIDAD EN AMP'S (En base a 4.16KV).	
		SIMETRICOS	ASIMETRICOS
(1) A-13.8KV.	500	43370	69393
(2) B-4.16KV.	192.28	16679	26686
(3) C-480V.	40.09	3540	5310
(8) H-4.16KV.	186.40	16169	25870

CORTO CIRCUITO TRIFASICO EN EL BUS (2) B-4-16 KV



CORTO CIRCUITO TRIFASICO EN LAS TERMINALES DEL MOTOR DE 2250 HP.



9.1.-PROTECCIONES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA TR1.

Se realizarán los ajustes a los relevadores de protección y se seleccionará la característica de operación de los mismos.

PUNTO DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA TR1 (ANSI).

--Corriente nominal lado de 4.16 KV.

$$I_n = (5000 / (1.732)(4.16)) = 694.0 \text{ Amps.}$$

--Punto ANSI del TR1.

$$\text{Amps} = ((5000)(694) / (0.055)) = 12618.$$

--La magnitud del daño "vista" por el dispositivo de protección primario, se reduce al 87%. (Por ser delta-estrella las conexiones del transformador y además por tener el neutro aterrizado a través de una resistencia),

$$\text{Por lo tanto punto ANSI} = 0.87(12618) = 10978 \text{ Amps, } t = 3.5 \text{ Seg.}$$

--Corriente de magnetización = $12(694) = 8328 \text{ Amps, } t = 0.1 \text{ Seg.}$

-- $6(I_n) = 6(694) = 4164.0 \text{ Amps.}$

*CALIBRACION DEL RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE (50/51)A.

--Selección de tap's, así como la curva de operación característica del relevador.

UNIDAD DE TIEMPO

--Corriente nominal del transformador TR1 (lado primario).

$$I_{np} = (5000 / (1.732)(13.8)) = 209.0 \text{ Amps.}$$

--Corriente mínima de operación del relevador.

$$I_{pickup} = 2.3I_{np} = 2.3(209) = 480.7 \text{ Amps}$$

-- I_{pickup} (vista de 4.16 KV).

$$I_{pickup} = 480.7(13.8/4.16) = 1595 \text{ Amps.}$$

--Relación de transformación del transformador de corriente (RTC)

$$RTC = 400/5A. \quad \text{-----}80.$$

--Selección del tap:

$$\text{tap} = (1595/80)(4.16/13.8) = 6.01 \text{ Amps.}$$

--Por lo tanto se selecciona el tap=6.0 Amps.

Esto implica tener una corriente mínima de operación (vista de 4.16 KV).

$$I_{\text{pickup}} = 6.0(80.0)(13.8/4.16) = 1592 \text{ Amps.}$$

--Selección de la curva de operación característica y de la palanca.

--Por inspección, se busca una curva de operación del relevador, que satisfaga lo siguiente:

Para una corriente de 10000 Amps., opere en 3.0 Seg. Aprox.

$$\text{Multiplo del tap} = MT = (10000/1592) = 6.28$$

--De las curvas (corriente-tiempo) de operación de relevadores, se selecciona la operación característica de tiempo inverso (CO-8) y palanca 8.5, de la cual se obtiene la siguiente tabulación:

MT	AMPS.	TIEMPO DE OPERACION DEL RELEVADOR (SEG)		
		Pal=8	Pal=9	Pal=8.5
4	6368	4.48	5.1	4.79
5	7960	3.35	3.86	3.60
7	11144	2.45	2.82	2.60
10	15920	1.95	2.22	2.08
20	31840	1.49	1.68	1.58

UNIDAD INSTANTANEA

--Selección del tap:

$$\text{tap} = ((>19827)/80)(4.16/13.8) = 74.7 \text{ Amps.}$$

Por lo tanto se selecciona el tap=80 Amps.

--Esto implica tener una corriente mínima de operación (vista desde 4.16 KV).

$$I_{\text{pickup}} = \text{tap}(RTC)(13.8/4.16)$$

$$I_{\text{pickup}} = 80(80)(13.8/4.16) = 21230 \text{ Amps.}$$

*CALIBRACION DEL RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE (50/51)B.

--Selección de tap's, así como de la curva de operación característica del mismo.

UNIDAD DE TIEMPO.

--Corriente nominal del transformador TR1 (lado secundario 4.16 KV.)

$$I_n = (5000 / (1.732)(4.16)) = 694.0 \text{ Amps}$$

--Corriente mínima de operación del relevador.

$$I_{pickUP} = 1.75(I_n) = 1.75(694) = 1214.5 \text{ Amps.}$$

--Relación de transformación del transformador de corriente (RTC).

$$RTC = 1200/5A. \text{ -----}240.$$

--Selección del tap:

$$tap = (1214.5/240) = 5.06 \text{ Amps.}$$

Por lo tanto se selecciona el tap=5.0 Amps.

--Esto implica tener una corriente mínima de operación

$$I_{pickUP} = 5(240) = 1200.0 \text{ Amps.}$$

Selección de la curva de operación característica y de la palanca.

--Por inspección, se busca una curva de operación del relevador, que satisfaga lo siguiente:

Para una corriente de 19800 Amps., un tiempo de operación de 0.35 - Seg. Aproximadamente.

$$MT = (19800/1200) = 16.5$$

--De las curvas de operación de relevadores, se selecciona la operación característica de tiempo extremadamente inverso (CO-11) y palanca 8.0, de la cual se obtiene la siguiente tabulación:

--Relevador CO-11, Tap=5.0 Amps, RTC=1200/5A.

MT	AMPS.	TIEMPO DE OPERACION DEL RELEVADOR (SEG.)
1.5	1800	40
3.0	3600	5.9
5.0	6000	2.0
7.0	8400	1.1
10.0	12000	0.65
20.0	24000	0.35
30.0	36000	0.26

UNIDAD INSTANTANEA.

--Selección del tap:

$$\text{tap} = (19827/240) = 82.6 \text{ Amps.}$$

Por lo tanto se selecciona el tap=80.0 Amps.

Esto implica tener una corriente mínima de operación

$$I_{\text{pickup}} = 80(240) = 19200 \text{ Amps.}$$

*CALIBRACION DEL RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE CONTRA FALLAS A
TIERRA (51G).

--Selección del tap, así como la curva de operación característica.
--Corriente mínima de operación del relevador

$$I_{\text{pickup}} = 20.0 \text{ Amps}$$

--Relación del transformador de corriente (RTC)

$$\text{RTC} = 100/5A. \quad \text{-----} 20.0$$

--Selección del tap:

$$\text{tap} = (20/20) = 1.0 \text{ Amp.}$$

--Selección de la curva de operación característica y de la palanca.

--Se busca una curva de operación que satisfaga lo siguiente:

Para una corriente igual a 391 Amps, un tiempo de operación de
0.3 Seg.

$$MT=(391/20)=19.55$$

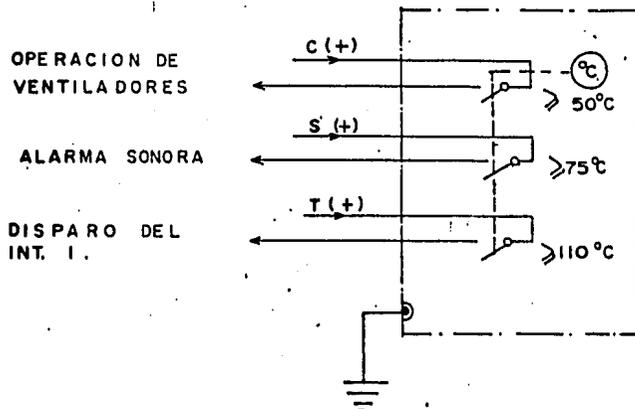
--De las curvas (corriente-tiempo) de operación de relevadores, se selecciona la operación característica de tiempo corto (CO-2) y Palanca 8.0.

8.- La curva de operación de este relevador, no se grafica en la hoja de coordinación de protecciones.

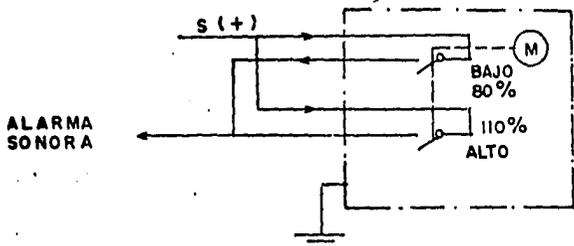
*CALIBRACION DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL ACEITE.

--La operación de este dispositivo es la siguiente:

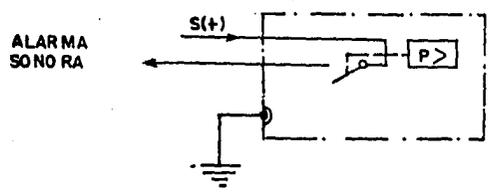
- 1.- Cuando el aceite (en la parte superior del transformador) alcance una temperatura de 50 grados centígrados, cerrará un contacto, que operará al sistema de enfriamiento.
- 2.- Cuando el aceite alcance una temperatura de 75 grados centígrados, mandará operar la alarma sonora.
- 3.- Cuando el aceite alcance una temperatura de 110 grados centígrados, mandará el disparo del interruptor principal (Int1).



OPERACION DEL SENSOR DE TEMPERATURA.



OPERACION DEL SENSOR DE NIVEL DE ACEITE.



OPERACION DE LA VALVULA DE SOBREPRESION.

9.2.-PROTECCIONES DEL MOTOR SINCRONO DE 2250 HP.

Se realizarán los ajustes a los relevadores de protección y se seleccionara la característica de operación de los mismos, además se seleccionaran los fusibles de potencia.

--Curva de capacidad térmica del motor (curva de protección).

AMPS.	TIEMPO (SEG).
420	1000
475	300
520	200
560	150
650	100
800	60
1100	27.5
1232	20

*CALIBRACION DEL RELEVADOR DE SECUENCIA NEGATIVA (46).

$(I_{\frac{1}{2}} t)$ del motor = 30.0

--Corriente nominal del motor = 308 Amps.

--Corriente mínima de operación del relevador.

$I_{pickup} = 26\%$ de la corriente nominal del motor.

$I_{pickup} = 0.26(308) = 80.0$ Amps.

--Relación de transformación del TC.

RTC = 400/5A. ----- 80.0

--Selección del tap:

$tap = (80/80) = 1.0$ Amp.

--De las curvas de operación del relevador, se selecciona la palanca 4.0

2.-, -La curva de operación de este relevador, no se grafica en la hoja de coordinación de protecciones.

***CALIBRACION DE LOS RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE POR FALLAS
A TIERRA (50G)A,B,C.**

--Corriente mínima de operación de los relevadores

$$I_{pickup}=10,0 \text{ Amps.}$$

--Relación de transformación del TC.

$$RTC=100/5A \quad \text{-----}20.0$$

--Selección del tap:

$$tap=(10/20)=0.5 \text{ Amps.}$$

***SELECCION DE LOS FUSIBLES DE POTENCIA.**

--Protesen al contactor, alimentador y motor contra sobrecorrientes muy altas.

--Corriente nominal del motor= $I_n=308.0$ Amps.

--Corriente de arranque= $4.5I_n=1386.0$ Amps.

--Tiempo de arranque=8 Seg.

--Se consideran 2 arranques por hora.

--De las figuras para la selección de fusibles (Figs. 6.5 y 6.6) e interpolando ambas, se seleccionaron fusibles tipo EJ-2,DD-18R, que permiten una circulación continua de 390 Amps. a 55 grados - centígrados de temperatura ambiente.

--De las curvas corriente-tiempo (GES-8100A Y GES-8101A), se obtiene la siguiente tabulación:

AMPS.	MIN. MELTING TIME (SEG)	MAX. TOTAL CLEARING TIME (SEG)
1500	100	-----
1900	-----	100
2050	10	-----
2500	2.75	10
3500	0.54	1.55
5000	0.10	0.265
7000	0.0265	0.068
9200	0.01	-----
17000	-----	0.01

*CALIBRACION DEL RELEVADOR TERMICO (49)A

--Selección del ajuste, así como del tipo de relevador.

--Corriente mínima de operación del relevador.

$$I_{pickup}=1.2(I_n)=1.2(308)=369.6 \text{ Amps.}$$

--Relación del TC.

$$RTC=400/5A \quad \text{-----}80.0$$

--Se seleccionó el relevador tipo GE-TMC.

--Corriente nominal lado secundario del TC.

$$I_{sec}=(308/80)=3.85 \text{ Amps.}$$

Por lo tanto se seleccionó el relevador tipo 12TMC24d12A, La operación de la unidad térmica de este relevador es ajustable, desde un 90% a 110% la corriente de la bobina de operación (4.68 Amps).

--Se ajustó a un 100% la corriente de la bobina=4.68 Amps., esto permite una sobrecarga del 20%.

--De las curvas (corriente-tiempo) de operación característica del relevador, se obtiene la siguiente tabulación:

AMPS.	TIEMPO DE OPERACION DEL RELEVADOR (SEG).	
	CALIENTE	FRIO
370	1000	-----
375	500	-----
405	200	-----
410	-----	1000
415	-----	500
500	105	180
600	73	115
800	44	68
1000	30	52
1300	20.0	35
1500	17	27.5
2000	11	20

***CALIBRACION DEL RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE (51).**

--Selección del tap, así como la curva de operación característica de operación.

--Corriente mínima de operación del relevador

$$I_{pickup} = 1.8(I_n) = 1.8(308) = 554.4 \text{ Amps.}$$

--Relación del TC.

$$RTC = 400/5A \quad \text{-----} 80.0$$

--Selección del tap:

$$tap = (554.4/80) = 6.93 \text{ Amps.}$$

Por lo tanto se selecciona el tap=7.0 Amps.

--Esto implica tener una corriente mínima de operación

$$I_{pickup} = 7(80) = 560.0 \text{ Amps.}$$

--Por inspección, se busca una curva de operación del relevador, que cumpla por lo siguiente:

Para una corriente de 1232 Amps., opere en 17 Seg., Aprox.

$$MT = (1232/560) = 2.2$$

--De las curvas (corriente-tiempo) de operación de relevadores, se selecciona la operación característica de tiempo largo (CO-5) y palanca 3.0, de la cual se obtiene la siguiente tabulación:

MULT. TAP=MT	AMPS.	TIEMPO DE OPERACION EN SEG.
1.5	840	32
2	1120	18.5
3	1680	11.8
5	2800	8.4
7	3920	8.0

9.3.-PROTECCIONES PARA MOTORES DE INDUCCION DE 800 H.P.

Se seleccionarán los fusibles de potencia y se calculará el ajuste del relevador (49)B.

-Curva de capacidad térmica del motor (Curva de protección).

AMPS	TIEMPO (SEG).
162	1000
216	315
270	145
324	92
432	47
540	28.5
648	20.0

*SELECCION DE LOS FUSIBLES DE POTENCIA.

--Protesen al contactor, alimentador y motor contra sobrecorrientes muy altas.

-Corriente nominal del motor $=I_n=108$ Amps.

-Corriente de arranque $=5.5I_n=594$ Amps.

-Tiempo de arranque $=10$ Segs.

-Considerando 2 arranques por hora.

De las gráficas para la selección de fusibles (Figs. 6.5 y 6.6) e interpolando ambas, se seleccionaron fusibles tipo EJ-2, D-9R, que permiten la circulación continua de 200 AMP's, a 55 grados centigrados de temperatura ambiente.

-De las curvas corriente-tiempo (GES B100A Y GES B101A), se obtiene la siguiente tabulación:

AMP'S	MIN. MELTING TIME (SEG)	MAX. TOTAL CLEARING TIME (SEG)
800	45.0	-----
900	25.0	-----
1000	15.0	100.0
1500	1.2	4.0
2000	0.3	0.82
3000	0.05	0.135
4000	---	0.05
4850	0.01	-----
5000	----	0.025
7000	----	0.01

***CALIBRACION DEL RELEVADOR TERMICO (49)B.**

Selección del tap, así como del tipo de relevador.

-Corriente nominal del motor = $I_n = 108$ Amps.

-Relación de transformación del TC 200/5 Amps.
= 40

-Se seleccionó el relevador térmico tipo BL-1.

-Selección del tap:

$$TAP = 108 / 40 = 2.7 \text{ Amps.}$$

Por tanto, se selecciona el tap = 2.75 Amps.

-Esto implica tener una corriente mínima de operación.

$$I_{pick-up} = 1.25(2.75)(40) = 137.5 \text{ Amps.}$$

La cual permite una sobrecarga del 27 %

-De las curvas (Corriente-tiempo) de operación del relevador térmico, se obtiene la siguiente tabulación:

Amps.	TIEMPO DE OPERACION DEL RELEVADOR (SEG).	
	100% CARGA	75% CARGA
137.5	900	-----
143.0	-----	900
220.0	120	216
330.0	51.6	90
550.0	20.7	30.3
770.0	11.58	15.8
1100.0	6.6	8.2

9.4.- PROTECCIONES PARA MOTORES DE INDUCCION DE 400 H.P.

Se seleccionarán los fusibles de potencia y el ajuste del relevador (49)C.

-Curva de capacidad térmica del motor (Curva de daño o protección).

AMPS.	TIEMPO (SEG).
81	1000
108	315
135	145
162	92
216	47
270	28.5
324	20

*SELECCION DE LOS FUSIBLES DE POTENCIA

-Protesen al contactor, alimentador y motor contra sobrecorrientes muy altas.

-Corriente nominal del motor = $I_n = 54$ Amps.

-Corriente de arranque = $6I_n = 324$ Amps.

-Tiempo de arranque = 6 Segs.

-Se consideran 2 arranques por hora.

--De la gráfica para la selección de fusibles (Fig.6.5), se seleccionaron los fusibles tipo EJ-2,D-4R, que permiten la circulación continua de 130 Amps., a 55 grados centígrados de temperatura ambiente.

--De las curvas corriente-tiempo (GES 8100A Y GES 8101A), se obtiene la siguiente tabulación:

AMPS.	MIN. MELTING TIME EN SEG.	MAX.TOTAL CLEARING TIME EN SEG.
	1000	-----
390	10	90
450	1.75	-----
600	0.85	2.8
700	0.175	0.45
1000	0.135	0.08
1500	-----	0.03
2000	0.01	-----
2100	-----	0.01
2900	-----	

*CALIBRACION DEL RELEVADOR TERMICO (49)C.

--Selección del tap, así como del tipo de relevador.

--Corriente nominal del motor= $I_n=54$ Amps.

--Relación del TC.

$$RTC=75/5A \quad \text{-----}15.0$$

--Se seleccionó el relevador térmico tipo "réplica" (BL1).

--Selección del tap:

$$tap=3.6 \text{ Amps.}$$

Por lo tanto se seleccionó el tap= 3.75 Amps.

Esto implica tener una corriente mínima de operación

$$I_{pickup}=1.25(3.75)15=70 \text{ Amps.}$$

Lo cual permite una sobrecarga del 29%.

--De las curvas (corriente-tiempo) de operación del relevador térmico (BL1), se obtiene la siguiente tabulación:

MULT. TAP	AMPS.	TIEMPO DE OPERACION DEL RELEVADOR (SEG)	
		100% DE CARGA	75% DE CARGA
1.25	70	900	-----
1.30	74	-----	900
2.0	112.5	105	202
3.0	168.75	40.2	70
5.0	281.25	15.0	22.5
7.0	394.0	8.1	11.0
10.0	562.5	4.5	5.4

9.5.- PROTECCION DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA TR2.

Se realizará el ajuste del relevador de protección, además se seleccionará la curva de operación característica del mismo.

PUNTO DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR TR2.

-Corriente nominal, lado Primario del transformador TR2.

$$I_n = 1500 / (1.732)(4.16) = 208 \text{ Amp's}$$

-Calculo del punto ANSI del transformador TR2.

$$\text{Amp's} = (1/0.575)208 = 3627$$

-La magnitud del daño vista por el dispositivo de protección (lado Primario), se reduce al 58 % (por ser delta - estrella las conexiones del transformador y por estar sólidamente aterrizado).

$$\text{Por tanto, el punto ANSI} = 0.58(3617) = 2097 \text{ Amp's,} \\ t = 3.75 \text{ Ses.}$$

-Corriente de magnetización = $10(208) = 2080 \text{ Amp's}$

-Punto de magnetización =====> $I = 2080 \text{ Amp's}$
 $t = 0.1 \text{ Ses.}$

- $6 I_n = 6(208) = 1248 \text{ Amp's.}$

*CALIBRACION DEL RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE (50/51)C.

- Selección de taps, así como la curva de operación característica del mismo.

UNIDAD DE TIEMPO

- Corriente mínima de operación del relevador.

$$I_{\text{pick-up}} = 1.5 I_n = 1.5 (208) = 312 \text{ Amp's.}$$

- Relación de transformación del TC $300/5 \text{ Amp's.}$

- Selección del tap :

$$\text{TAP} = 312/60 = 5.2 \text{ AMP's.}$$

Por tanto, se selecciona el tap = 5.0 AMP's.

- Esto implica tener una corriente mínima de operación.

$$I \text{ Pick-UP} = 5(60) = 300 \text{ AMP's.}$$

- Selección de la curva de operación característica y de la palanca.

Por inspección se busca una curva de operación del relevador que satisfaga lo siguiente:

- Para una corriente de 2000 AMP's, opere en 3 segundos aproximadamente.

$$\text{Multiplo del tap} = 2000/300 = 6.66$$

- De las curvas (corriente-tiempo) de operación del relevador con operación característica de tiempo inverso (CO-8) y palanca 10, de la cual se obtiene la siguiente tabulación:

MULTIPLO DEL TAP	AMP'S	TIEMPO DE OPERACION DEL RELE EN Seg. (PALANCA 10.0)
3.6	1080	6.9
4.0	1200	5.8
5.0	1500	4.27
7.0	2100	3.18
10.0	3000	2.52
20.0	6000	1.92

UNIDAD INSTANTANEA

- Corriente de corto circuito trifásica en las terminales del secundario del transformador (solo con contribución del bus (2)B-4.16KV).

$$I_{cc}(3\phi) = 25644 \text{ AMP's (SIM)}$$

$$I_{cc}(3\phi) = 1.5(25644) = 38466 \text{ AMP's (ASIM)}$$

- Selección del tap:

$$TAP = (38466/60)(0.48/4.16) = 73.9 \text{ AMP's}$$

Por tanto, se selecciona el tap = 70.0 AMP's.

Esto implica tener una corriente de operación mínima.

$$I_{pick-up} = 70(60) = 4200 \text{ AMP's.}$$

*ACCESORIOS DEL TRANSFORMADOR TR2:

TR2 cuenta con válvula de presión súbita, sensor de temperatura del aceite e indicador de nivel de aceite.

- El sensor de temperatura del aceite se calibró para que opere una alarma cuando se alcance una temperatura de 75 grados centígrados y para que mande disparo a 110 grados centígrados.

10.- COORDINACION DE PROTECCIONES

El estudio de coordinación de protecciones de un sistema de potencia eléctrica consiste de un estudio de corriente-tiempo de todos los dispositivos de protección, en serie desde la protección a la -- fuente de alimentación. Este estudio es una comparación del tiempo -- que toma el dispositivo individual para operar, cuando pasan ciertos niveles de corriente normal o anormal.

Una recoordinación de protecciones se hace cuando se adicionan cargas fuertes a la subestación o cuando equipo existente es reemplazado por otro de mayor capacidad.

Otra causa es cuando la corriente de cortocircuito de la subestación es incrementada. Este nuevo estudio determina las calibraciones de los diversos dispositivos de protección que aseguran la correcta -- protección y coordinación después de los cambios sufridos por el sistema.

Se debe tener cuidado en la selección del tipo de los dispositivos de protección, así como en sus ajustes, de tal manera que se tenga una protección satisfactoria contra sobrecargas en el equipo e interrupción de corrientes de cortocircuito tan pronto como sea posible y discriminando al máximo el equipo fallado.

Para tener una coordinación completa del equipo de protección aplicado, es necesario obtener los siguientes cálculos de corrientes de cortocircuito:

a).- I_{cc} máxima y mínima momentánea (0 a 3 ciclos).

Para esto se utilizan las reactancias subtransitorias de las máquinas con generación máxima y mínima, respectivamente. Los valores de corriente obtenidos son utilizados para determinar a que corriente máxima y mínima deben responder los dispositivos de disparo de acción directa y unidades de característica de operación instantánea. Con la corriente de -- cortocircuito máxima también se determina directamente la -- capacidad interruptiva de los equipos tales como: fusibles interruptores, switches así como la capacidad de los buses. En caso de que la capacidad de algun equipo este expresada en corriente asimétrica, entonces esta será calculada por la siguiente expresión:

$$I_{cc.asim} = 1.6 I_{cc.máx}$$

Los relevadores con unidad instantánea, deben calibrarse a una corriente máxima equivalente a la corriente de corto circuito asimétrica (RMS).

b).- Icc máxima de interrupción.

Para su determinación se considera la máxima generación y la reactancia transitoria de los motores, con dicha corriente se determinan las capacidades de los interruptores, fusibles y cables, además en este valor se establece el intervalo de tiempo de coordinación.

c).- Icc mínima de interrupción (8 ciclos).

Se considera la mínima generación y la reactancia transitoria de los motores. Esta corriente se requiere para determinar si la sensibilidad de los dispositivos de protección es adecuada.

d).- Icc máxima y mínima (30 a 60 ciclos)

Si dentro del esquema de protecciones se tienen de operación en tiempo de retardo, los cuales operan en un tiempo mayor de 30 ciclos, la representación del sistema equivalente sólo incluirá como fuentes a generadores y equipo estático de la red. Los generadores serán representados por su reactancia transitoria. Toda contribución de los motores será omitida.

INTERVALOS DE TIEMPO DE COORDINACION

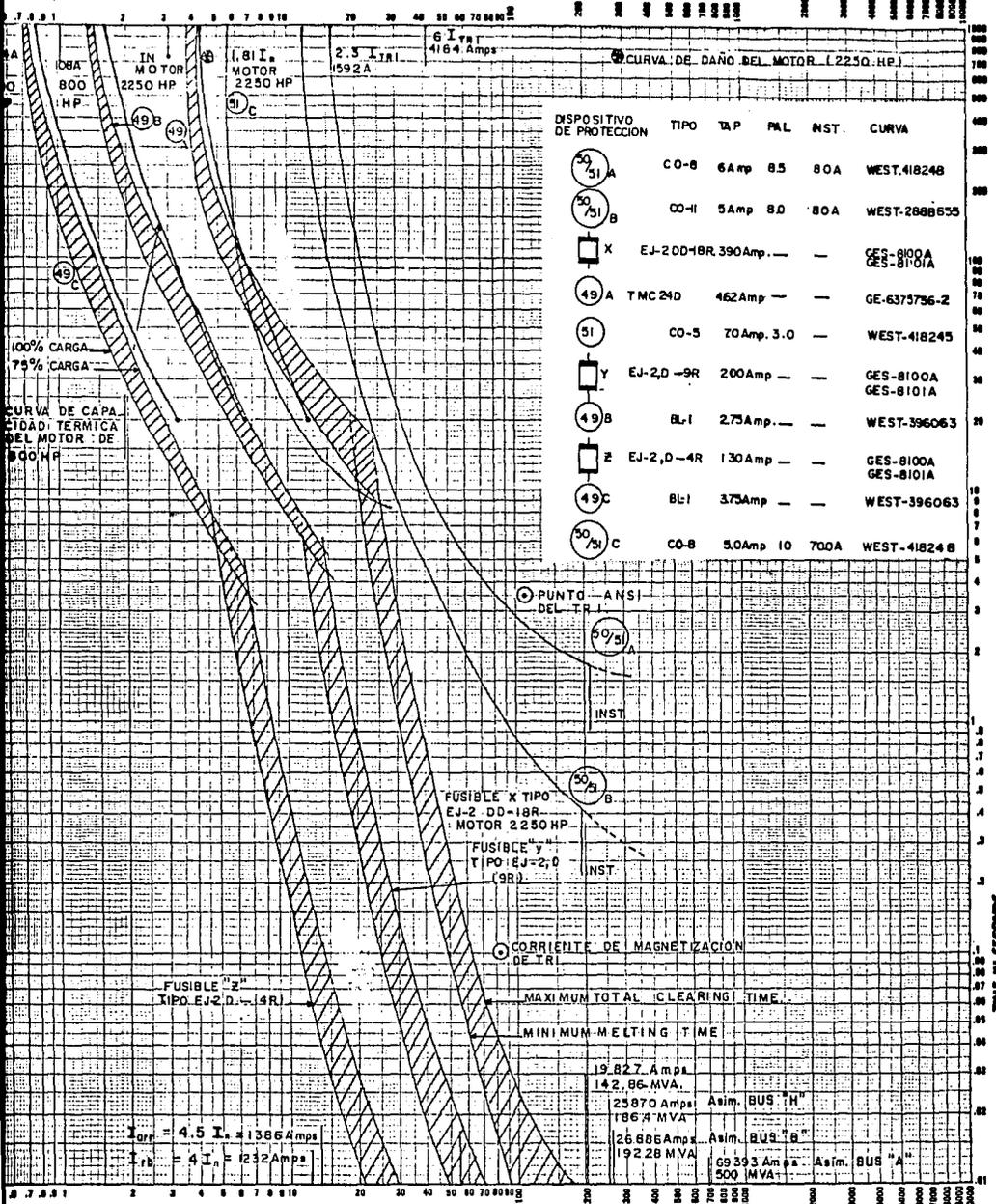
Cuando las curvas de coordinación se grafican, se deben mantener ciertos intervalos de tiempo entre las curvas de operación de los múltiples dispositivos de protección involucrados para asegurar la operación secuencial de los mismos. Tales intervalos o márgenes se requieren porque los relevadores tardan cierto tiempo en cerrar sus contactos, los fusibles tienen características de daño y los interruptores tienen velocidades finitas de operación.

El intervalo consiste de los siguientes componentes:

Tiempo de apertura del interruptor.....0.08 s
Tiempo de cierre de contactos del relevador....0.10 s
Factor de seguridad.....0.12 a 0.22 s

Si se utilizan relevadores en estado sólido se elimina el tiempo de cierre de los contactos y por lo tanto, se reduce el intervalo.

En sistemas donde se utilizan relevadores de disco de inducción, podría hacerse un decremento del intervalo empleando relevadores de sobrecorriente con elemento instantáneo de alta reposición, calibrado aproximadamente al mismo valor que la unidad de tiempo, con su contacto conectado en serie con el contacto del relevador principal. En sistemas con relevadores instantáneos de alta reposición normalmente se usa un intervalo de 0.25 s. El intervalo mínimo podría ser de 0.15 s.



DISPOSITIVO DE PROTECCION	TIPO	I _{AP}	PAL	INST.	CURVA
51A	CO-8	6 Amp	8.5	80A	WEST-41824B
51B	CO-11	5 Amp	8.0	80A	WEST-288865S
X	EJ-2DD-18R	390 Amp	—	—	GES-8100A GES-8101A
49A	TMC 24D	462 Amp	—	—	GE-6375736-2
51	CO-5	70 Amp	3.0	—	WEST-418245
Y	EJ-2D-9R	200 Amp	—	—	GES-8100A GES-8101A
49B	BL-1	2.75 Amp	—	—	WEST-396063
Z	EJ-2D-4R	130 Amp	—	—	GES-8100A GES-8101A
49C	BL-1	3.75 Amp	—	—	WEST-396063
50/51C	CO-8	5.0 Amp	10	700A	WEST-41824B

100% CARGA
75% CARGA

CURVA DE CAPACIDAD TERMICA DEL MOTOR DE 2250 HP

CURVA DE DAÑO DEL MOTOR (2250 HP)

6 I_{FL} = 4164 Amps
2.5 I_{FL} = 1592A

FUSIBLE "X" TIPO EJ-2 DD-18R MOTOR 2250 HP

FUSIBLE "Y" TIPO EJ-2D (9R)

FUSIBLE "Z" TIPO EJ-2D-4R

PUNTO ANSI DEL TR

INST

INST

CORRIENTE DE MAGNETIZACION DE TRI

MAXIMUM TOTAL CLEARING TIME

MINIMUM MELTING TIME

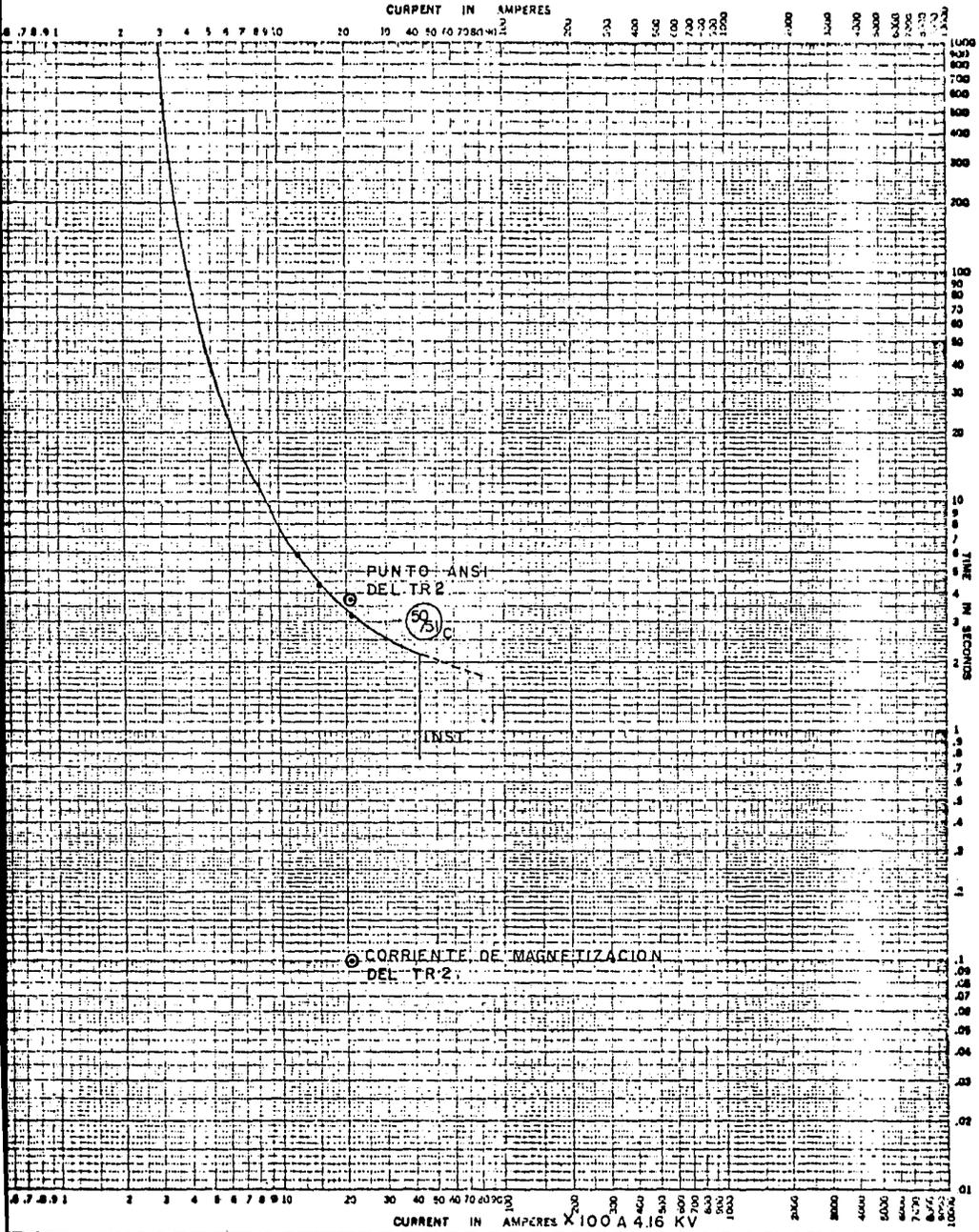
$I_{gr} = 4.5 I_{FL} = 1866 \text{ Amps}$
 $I_{rb} = 4 I_{FL} = 1632 \text{ Amps}$

19 827 Amps
142.86 MVA
23870 Amps Asim. BUS "H"
1864 MVA
26 686 Amps Asim. BUS "B"
19228 MVA
69393 Amps Asim. BUS "A"
500 MVA

CORRIENTE EN AMPERES X 100 A 4.16 KV.

COORDINACION DE PROTECCIONES DE LA SUBSTACION

(MOTOR 2250 HP.)



TIME-CURRENT CHARACTERISTIC CURVES

For _____ Fuse Links in _____

DATE: _____

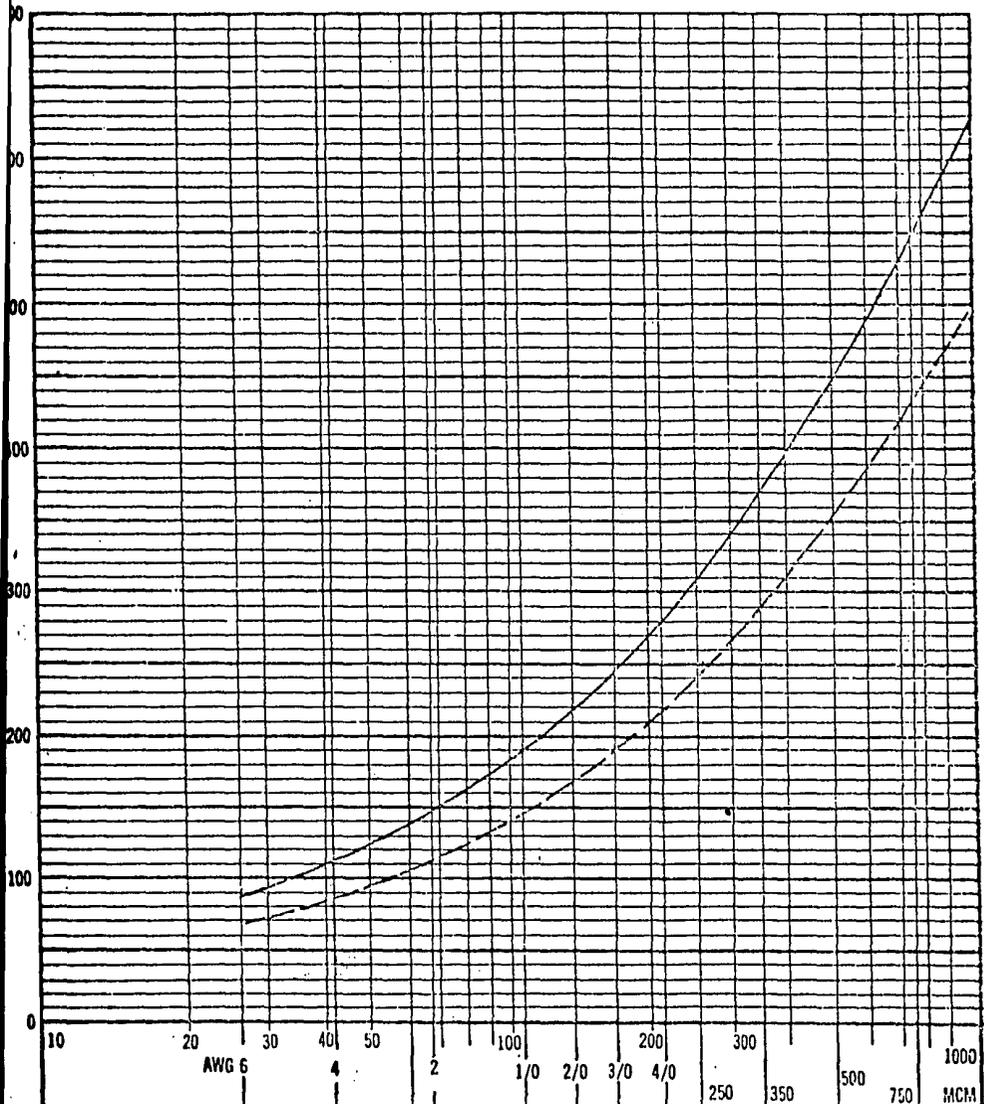
1. Tests made at _____ Volts a-c at _____ p-f., starting at 25°C with no initial load _____

2. Curves are plotted to _____ Test points so variations should be _____

No. _____
Date _____

GRAFICA 20

CORRIENTES EN CABLES DE ENERGIA UNIPOLARES, CON AISLAMIENTO EXTRUIDO (EPR-XLP) INSTALADOS EN DUCTOS SUBTERRANEOS Y PANTALLAS A TIERRA



5 - 35 KV COBRE
 5 - 35 KV ALUMINIO

AREA DEL CONDUCTOR

FC=100%

Condiciones Supuestas: $T_c = 90^\circ\text{C}$ (5, 15, 25 y 35 KV) $T_t = 25^\circ\text{C}$ $T_l = 60^\circ\text{C}$
 $C_t = 120 \frac{^\circ\text{C}\cdot\text{cm}}{\text{W}}$ $P = 90 \text{ cm}$

TABLA I

FACTORES DE CORRECCION POR VARIACION EN LA TEMPERATURA AMBIENTE

Máxima temperatura del conductor °C	Cables directamente enterrados o en ductos subterráneos					Cables instalados al aire					
	Temperatura del terreno (°C)					Temperatura del ambiente (°C)					
	15	20	25	30	35	25	30	35	40	45	50
60	1.13	1.07	1.00	.93	.85	1.41	1.28	1.15	1.00	.80	.71
75	1.10	1.05	1.00	.95	.88	1.22	1.15	1.08	1.00	.91	.82
80	1.09	1.04	1.00	.96	.90	1.17	1.12	1.06	1.00	.94	.87
90	1.07	1.03	1.00	.97	.92	1.14	1.10	1.05	1.00	.95	.89

TABLA II

CABLES EXPUESTOS AL SOL

Quando un cable está expuesto al sol, la temperatura de su superficie exterior aumenta con respecto a la del aire ambiente a la sombra. Aunque la situación no es tan desfavorable cuando hay viento, conviene considerar las condiciones más críticas para efectos de cálculo. La siguiente tabla proporciona datos empíricos sobre los incrementos que se deben dar a la temperatura ambiente a la sombra (tomada generalmente como 40°C) para calcular la corriente de los cables usando los factores de corrección de la Tabla I.

Diámetro cable (mm.):	20	30	40	50	60	70	80
Cable con plomo ext.: °C	12	15	17	18	20	21	22
Cable con cubierta opaca (yute, PVC, etc.): °C	14	17	19	21	24	26	28

TABLA III

FACTORES DE CORRECCION POR INCREMENTO EN LA PROFUNDIDAD DE INSTALACION

Profundidad de instalación en metros	Cables directamente enterrados		Cables en ductos subterráneos	
	5 KV a 23 KV	35 KV	5 KV a 23 KV	35 KV
0.9	1.00		1.00	
1.00	0.99		0.99	
1.20	0.98	1.00	0.98	1.00
1.50	0.97	0.99	0.97	0.99
1.80	0.96	0.98	0.95	0.97
2.50	0.95	0.96	0.91	0.92

TABLA V-A

FACTORES DE CORRECCION POR AGRUPAMIENTO EN
INSTALACION SUBTERRANEA DE CABLES

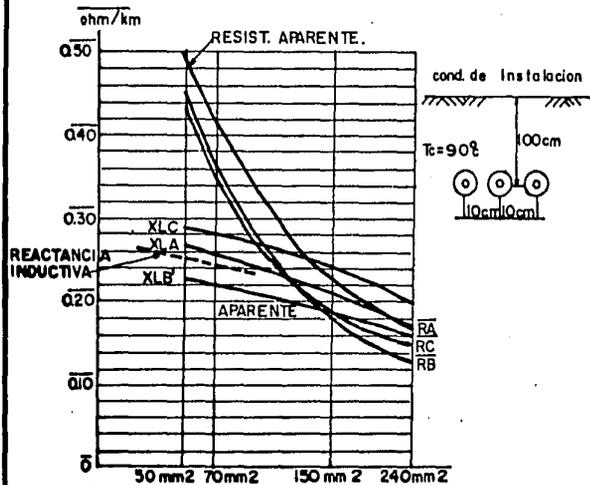
a) Un cable triplex o tres unipolares en el mismo ducto, o un cable tripolar por ducto.

Tipo de cable	Tipo de agrupamiento*	Número de circuitos	Referencia	Cables directamente enterrados					Cables en ductos			
				Espaciamiento entre centros (d)								
				Cables tocándose	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	Cables tocándose	30 cm	45 cm	60 cm
TRIPLEX O UNIPOLARES EN TREGOL	PLANO	2	Fig. 1a	0.78	0.81	0.86	0.89	0.90	0.87	0.87	0.90	0.92
		3	Fig. 1b	0.67	0.71	0.77	0.81	0.84	0.79	0.79	0.83	0.85
		4	Fig. 1c	0.61	0.65	0.72	0.77	0.80	0.74	0.74	0.79	0.82
		6	Fig. 1d	0.53	0.58	0.66	0.71	0.76	0.68	0.68	0.74	0.77
	HILERAS**	2	Fig. 2a	0.77	0.80	0.83	0.85	0.86	0.85	0.85	0.87	0.89
		3	Fig. 2b	0.66	0.70	0.74	0.76	0.79	0.76	0.76	0.78	0.81
		2 x 2	Fig. 2c	0.59	0.63	0.68	0.71	0.73	0.70	0.70	0.73	0.75
		2 x 3	Fig. 2d	0.49	0.54	0.59	0.62	0.65	0.61	0.61	0.64	0.67
		3 x 3	Fig. 2e	0.42	0.46	0.50	0.53	0.56	0.53	0.53	0.55	0.58
		4 x 3	Fig. 2f	0.38	0.41	0.45	0.47	0.49	0.48	0.48	0.50	0.53
TRIPOLARES	PLANO	2	Fig. 3a	0.80	0.84	0.88	0.90	0.92	0.89	0.91	0.93	0.94
		3	Fig. 3b	0.69	0.75	0.80	0.83	0.85	0.82	0.84	0.87	0.89
		4	Fig. 3c	0.63	0.69	0.75	0.79	0.82	0.77	0.80	0.84	0.87
		6	Fig. 3d	0.55	0.62	0.69	0.75	0.78	0.71	0.76	0.81	0.84
	HILERAS**	2	Fig. 4a	0.79	0.83	0.87	0.89	0.91	0.88	0.90	0.91	0.92
		3	Fig. 4b	0.68	0.74	0.78	0.81	0.83	0.81	0.83	0.85	0.87
		2 x 2	Fig. 4c	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.76	0.79	0.81	0.84
		2 x 3	Fig. 4d	0.51	0.57	0.63	0.67	0.69	0.67	0.71	0.74	0.77
		3 x 3	Fig. 4e	0.43	0.48	0.53	0.56	0.58	0.58	0.61	0.63	0.66
		4 x 3	Fig. 4f	0.40	0.45	0.50	0.52	0.54	0.54	0.57	0.60	0.63

* Los factores para cables en hileras ya toman en cuenta el incremento en la profundidad de instalación.

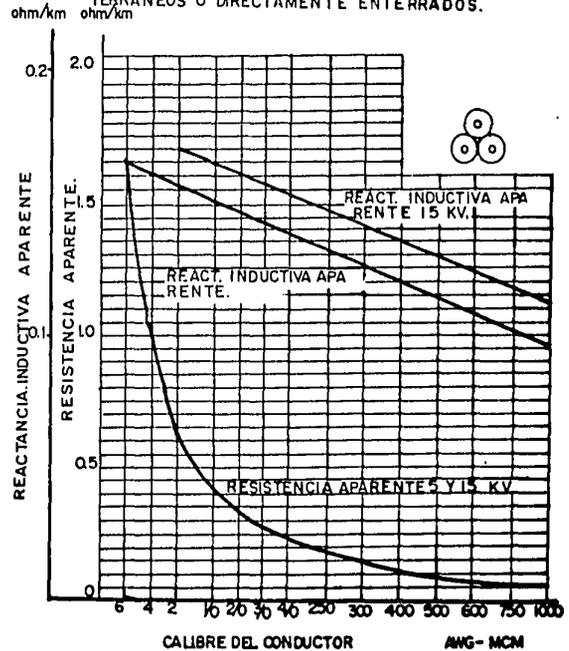
GRAFICA 4.2

RESISTENCIA Y REACTANCIA INDUCTIVA APARENTE DE CABLES ENERGIA VULCANEL 23 TC.



GRAFICA 4.3

RESISTENCIA Y REACTANCIA INDUCTIVA APARENTE EN CABLES VULCANEL EP Y XLP, 5 Y 15 KV C/PLOMOS A TIERRA, INSTALADOS EN CHAROLAS, DUCTOS SUBTERRANEOS O DIRECTAMENTE ENTERRADOS.



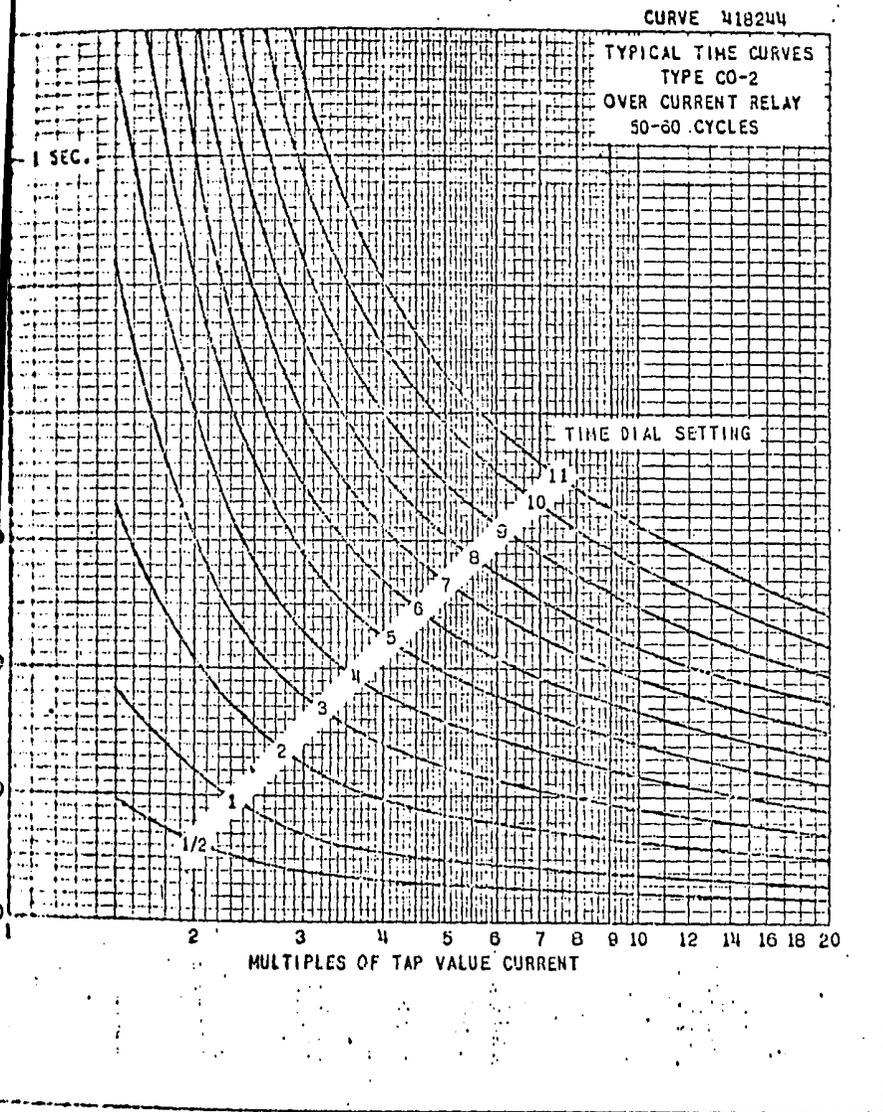
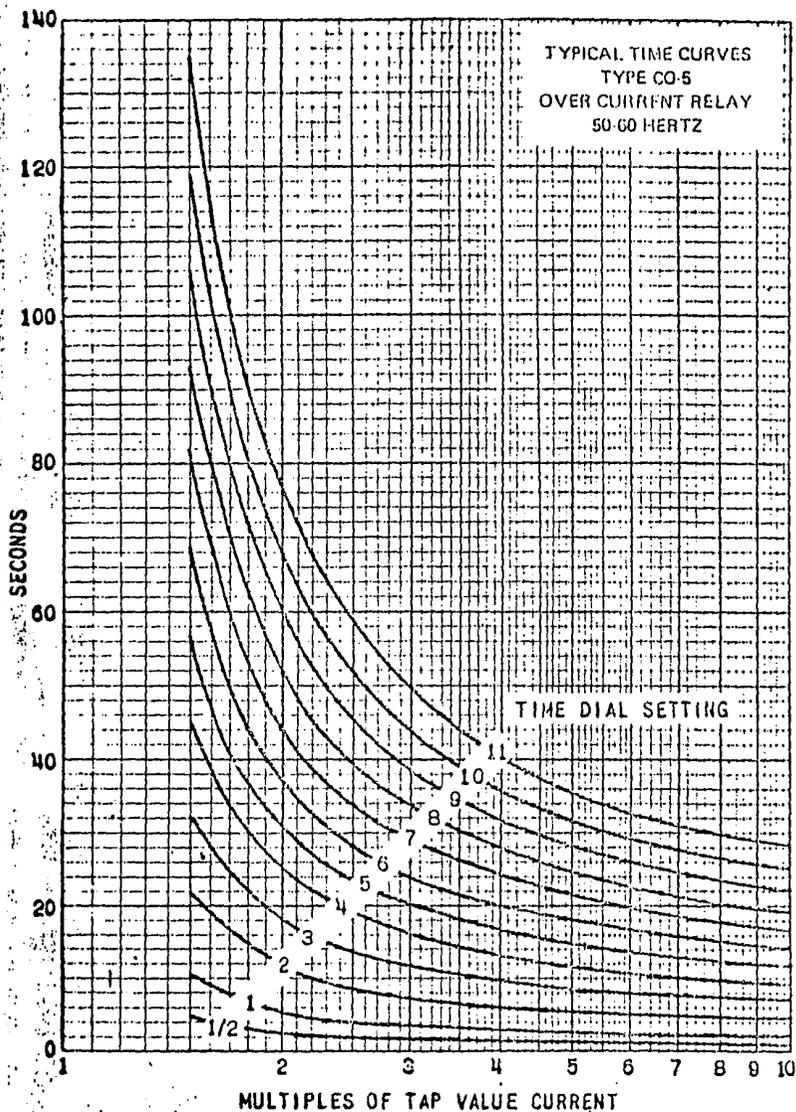
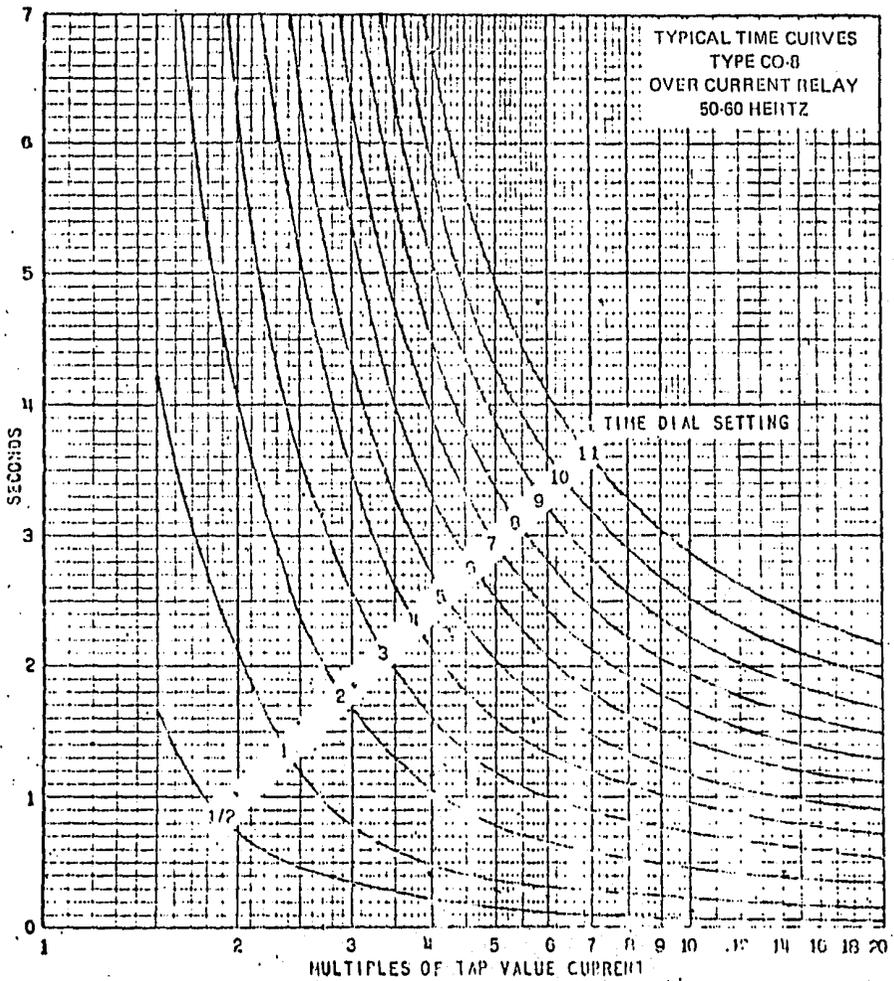


Fig. 3. Typical Time Curves of the Type CO-2 Relay.



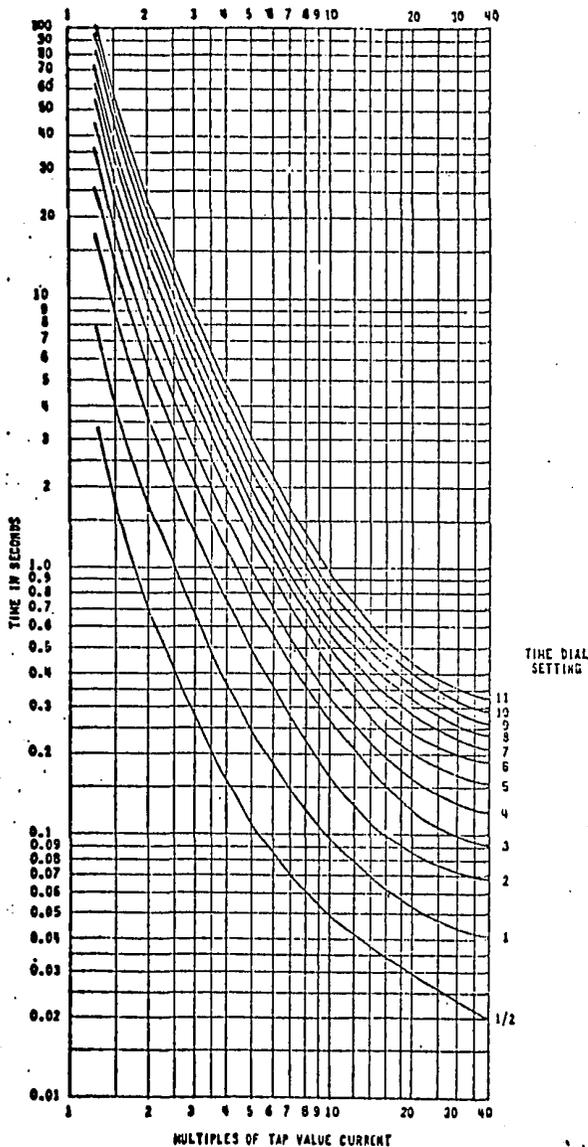
Curve 418245

Fig. 31. Typical Time Curve of the Time-Overcurrent Unit of the Long Time (5) Relays.



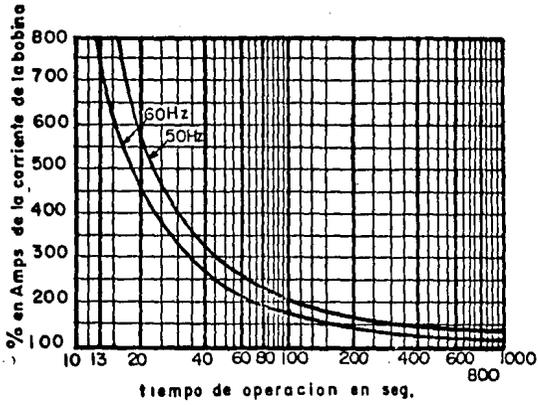
Curve 415913

Fig. 14. Typical Time Curve of the Time-Over-current Unit of the Inverse (R) Relays.

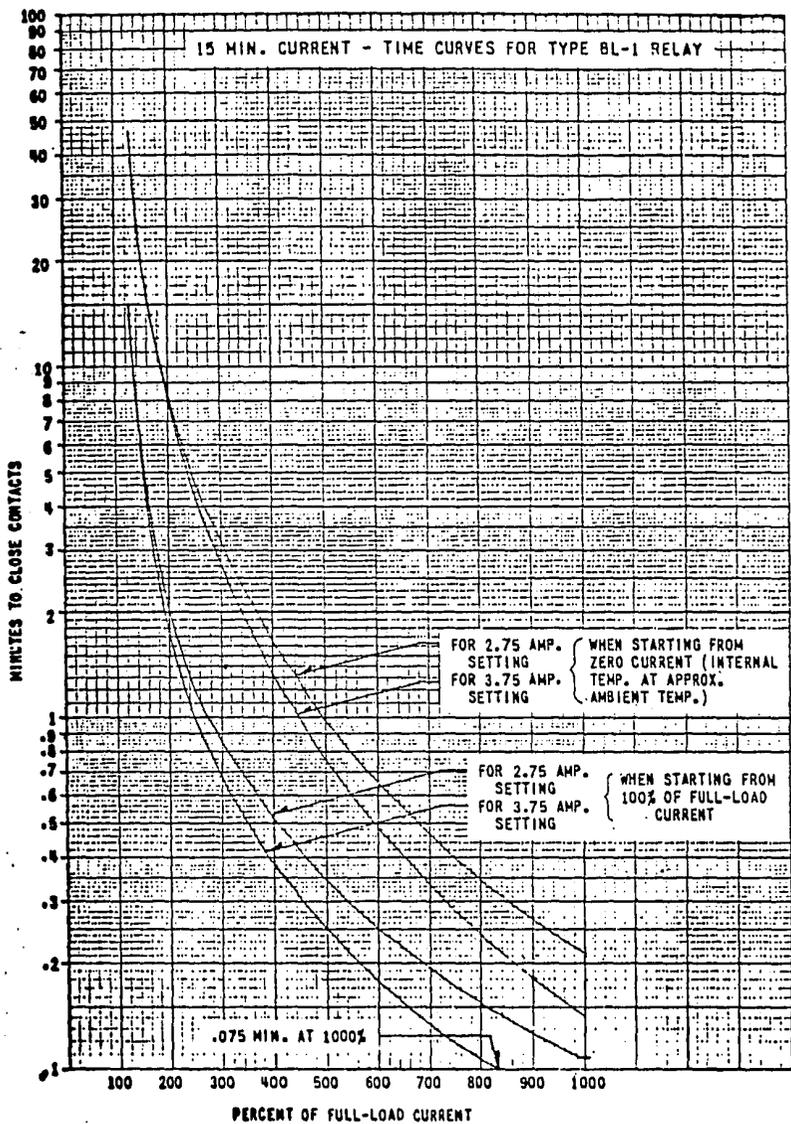


288B655

Fig. 12 Typical Time Curve of the Typ. CO-11 Relay



Curva de operación promedio de relevadores térmicos tipo: TMC21B, 24B Y 24D.



Curve 396063

Fig. 7. Current-Time Curves for Special Applications of the Type BL-1 Relay covering Range of Full-Load Currents from 2.75 to 3.75 Amperes. Contact Settings Determined by Test for 15-Minute Delay with 125% Load Occurring after Moving Contact reaches Final Position for Steady Full-Load. Shorting Link Open.

DATOS TECNICOS DE LOS CONTACTORES VC-5 Y VC-7

Los Controladores EPE tipo VC-5 y VC-7, que usan Contactores en Vacío, están clasificados como de clase E2, esto se aplica al control que emplea sus contactos para arrancar y parar un motor, provisto de fusibles para interrumpir fallas de corto circuito y sobrecorrientes arriba de las normales de operación. Las capacidades de los controles E2, se aplican a controles de 2500 volts, máximos, cubriendo una amplitud de 2200 a 2400 volts, y 4000 a 4800 volts, respectivamente. El Control EPE VC-7, diseñado para 7200 volts máximos, es también clase E2, aunque las normas de NEMA no cubran arriba de 5000 volts.

	VC-5	VC-7
TENSION MAXIMA RCM	2500V ó 5000V	7200V
CAPACIDAD CONTINUA AMPS.	ABIERTO CERRADO	400 360
CAPACIDAD INTERRUPTIVA MAXIMA SIN FUSIBLE, BASADA EN CICLO DE 3 CIERRES/APERTURA A INTERVALO DE 30 SEGUNDOS	5000A 11000A	6000A 11000A
CORRIENTE PICO ASIMETRICA DE CIERRE		
TENSION DE PRUEBA A LA POTENCIA Y FRECUENCIA NOMINAL (1 MINUTO)	UNIDAD DE 2500V 6000V UNIDAD DE 5000V 11500V	20000V
TENSION DE IMPULSO QUE SOPORTA	60KV.	
CAPACIDAD TERMICA, TIEMPO CORTO	9000A - 1 SEG. 8000A - 3 SEG.	
MAXIMO NUMERO DE APERTURAS A PLENA CARGA	1,200 OPERACIONES POR HORA	
VIDA MECANICA	5,000,000 DE OPERACIONES	
VIDA ELECTRICA A:	2,000,000 DE OPERACIONES 1,000,000 DE OPERACIONES 300,000 OPERACIONES 200,000 OPERACIONES 100,000 OPERACIONES 30,000 OPERACIONES 10,000 OPERACIONES	
3000 A		
2500 A		
1500 A		
1000 A		
750 A		
400 A		
300 A		
LUZ DE LOS CONTACTOS	0.10 PULGADAS	0.168 PULGADAS
TIEMPO DE CIERRE-MILISEGUNDOS	80 - 120	60 - 100
TIEMPO DE APERTURA: NORMAL ó MINIMO	0.50 SEGS. (30 CICLOS) 20-30 MILISEGS. (1.25-20 CICLOS)	
CORRIENTE CORTADA MAXIMA (0.1% DE PROBABILIDAD) (CHOPPING CURRENT) NORMAL	0.75 AMPS. ABAJO DE 0.5 AMPS.	

LAS CAPACIDADES INTERRUPTIVAS DE LOS CONTACTORES VC-5 Y VC-7, SON COMO SIGUE:

	MAXIMA	MINIMA	
2500V	2500V	2200V	200MVA
5000V	5000V	4000V	350MVA
7200V	6900V	6000V	500MVA

LAS CAPACIDADES MAXIMAS EN HIP, SON COMO SIGUE:

2500V - 2500V	1500 HIP	1750 HIP
400V - 5000V	2500 HIP	3000 HIP
6000V - 6900V	4500 HIP	4500 HIP

TABLA 302.4

Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (ampere)

Temperatura máxima del aislamiento	60 °C		75 °C		85 °C		90 °C	
Tipos	THWN, RUW, T, TW, TWD, MTW		RH, RHW, RUH, THW, THWN, DF, XHHW		PILC, V, MI		TA, TBS, SA, AVB SIS, FEP, THW RHH, THHN, MTW, EP, XHHW *	
Calibre AWG MCM	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire
14	15	20	15	20	25	30	25	30
12	20	25	20	25	30	40	30	40
10	30	40	30	40	40	55	40	55
8	40	55	45	65	50	70	50	70
6	55	80	65	95	70	100	70	100
4	70	105	85	125	90	135	90	135
3	80	120	100	145	105	155	105	155
2	95	140	115	170	120	180	120	180
1	110	165	130	195	140	210	140	210
0	125	195	150	230	155	245	155	245
00	145	225	175	265	185	285	185	285
000	165	260	200	310	210	330	210	330
0000	195	300	230	360	235	385	235	385
250	215	340	255	405	270	425	270	425

NTIE-81

75

Continúa TABLA 302.4

76

Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (amperes)

Temperatura máxima del aislamiento	60 °C		75 °C		85 °C		90 °C	
Tipos	THWN, RUW, T, TW, TWD, MTW		RH, RHW, RUH, THW, THWN, DF, XHHW		PILC, V, MI		TA, TBS, SA, AVB SIS, FEP, THW RHH, THHN, MTW, EP, XHHW *	
Calibre AWG MCM	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire
300	240	375	285	445	300	480	300	480
350	260	420	310	505	325	530	325	530
400	280	455	335	545	360	575	360	575
500	320	515	380	620	405	660	405	660
600	355	575	420	690	455	740	455	740
700	385	630	460	755	490	815	490	815
750	400	655	475	785	500	845	500	845
800	410	680	490	815	515	880	515	880
900	435	730	520	870	555	940	555	940
1 000	455	780	545	935	585	1 000	585	1 000

* Los tipos EP y XHHW pueden ser directamente enterrados. (Véanse notas de esta tabla al final de la misma).

CONCLUSIONES.

Se puede afirmar que es de vital importancia realizar el estudio en general de la subestación eléctrica. Realizando el estudio de cargas, estimación de posibles cargas futuras, adecuada selección de transformadores de potencia y tipo de arreglo de la S.E.

Realizando un buen estudio, se puede reducir en gran medida el costo de la S.E., logrando a la vez un alto grado de confiabilidad. Incluso el ahorro puede lograrse eliminando interruptores de potencia o algunos relevadores, conservando la filosofía de la protección (sensitividad, selectividad, rápida desconexión de equipo fallado, adecuada protección de respaldo), si se realizan:

- un buen estudio de corto circuito.
- una adecuada selección del equipo de protección.
- y una adecuada coordinación de protecciones.

En sistemas de potencia industriales o comerciales como en nuestro caso, (capacidad de la S.E. 5/6.25 MVA) donde una gran capacidad es absorbida por motores, se debe pensar en el mejoramiento del factor de potencia, que se puede conseguir por varios métodos, entre ellos están la inserción de un banco de capacitores o la aplicación de motores síncronos.

Para el caso en particular se requería un motor de 2250 HP, por lo tanto se realizó el estudio sobre la conveniencia de la utilización de un motor de inducción conjuntamente con un banco de capacitores y la utilización de un motor síncrono, resultando este último el más económico.

Las pruebas a equipo primario y la puesta en servicio de la S.E. es una actividad muy importante, que evita muchos problemas como son: disminución de fallas, operación correcta del equipo primario y equipo de protección, y daño mínimo al equipo en caso de falla.

En las pruebas a equipo primario y puesta en servicio se realizan las siguientes actividades:

- 1.- Pruebas de aislamiento al equipo.
- 2.- Pruebas de apertura y cierre de los interruptores y cuchillas.
- 3.- Verificación del cableado de control.
- 4.- Verificación de polaridad y relación de transformación de TC'S.
- 5.- Verificación de la operación de relevadores.

B I B L I O G R A F I A.

- MASON, "El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores"
Ed. C.E.C.S.A.
- JACINTO VIQUEIRA, "Redes Eléctricas"
Ed. Representaciones y servicios de Ingeniería, S.A.
- WESTINGHOUSE, "Silent Sentinels Publication".
Newark New Jersey.
- IEEE RED BOOK (Std 141-1976), "IEEE Recommended Practice for
Electric Power Distribution for Industrial Plants".
- IEEE BUFF BOOK (Std 242-1975), "IEEE Recommended Practice for
Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power
Systems".