

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

" COORDINACION DE LAS PROTECCIONES EN SISTEMAS INDUSTRIALES "

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO ELECTRICO
EN LA ESPECIALIDAD DE POTENCIA DE LA
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

PABLO ORLANDO MENA LASLUISA

Quito, Enero 1981

CERTIFICO:

Que el presente trabajo
ha sido desarrollado en
su totalidad por el se-
ñor Pablo Mena Lasluisa
bajo mi dirección.



Ing. MILTON TOAPANTA

DEDICATORIA

- A mi madre Dolores Lasluisa, que me dio todo sin esperar nada de mí.
- A la memoria de mi padre José Mena
- A mis hermanos José y Clara
- A mi pueblo, que espero servirlo.

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL y a la FACULTAD DE ELECTRICA en las personas de sus autoridades, profesores, empleados y trabajadores, por todo lo que he aprendido para poder servir a los demás. Especial agradecimiento quiero hacer a mi director de tesis por su acertada dirección.

PRESENTACION

En un mundo, donde la realidad de la sociedad contemporánea nos ofrece como rasgo tipificante la primacía indiscutida que la tecnología tiene en las distintas áreas de la vida colectiva; es penoso anotar que las instalaciones eléctricas de plantas industriales del sector artesanal, pequeña industria y en muchos casos de la gran industria de nuestro país, son desastrosas.

Las instalaciones son diseñadas con criterio de funcionamiento y no de optimización. Las protecciones del sistema de fuerza son realizadas en función económica y no técnica, y sus elementos casi nunca son coordinados técnicamente entre sí.

El mantenimiento del sistema e instalaciones futuras, es confiado al electricista, que se espera tenga buena fé y gran experiencia para que el sistema funcione, no de acuerdo a planos que sean fruto de un estudio técnico del sistema, sino de acuerdo a la memoria y visión futurista del jefe de mantenimiento o del dueño de la fábrica.

Esta realidad motivo para que este tema sea realizado y que tiene como objetivo servir a la industria en el diseño de las protecciones de su sistema, y hacer resaltar que si bien la protección de aparatos y equipos es necesaria en una planta industrial, la coordinación de los diferentes elementos de protección

es un complemento indispensable, si se desea que el sistema de protección tenga un rendimiento óptimo.

En los siguientes capítulos se desarrolla lo siguiente.

Capítulo I.

Se indica en forma corta la filosofía del sistema de protección y coordinación, indicando su necesidad y objetivos.

Capítulo II.

Se da en su definición las bases de los elementos de protección características y selección.

Capítulo III.

Se da las bases del estudio de protecciones para proteger un aparato o equipo y al sistema.

Capítulo IV.

Se indica el estudio de la coordinación de los elementos de protección en sus diferentes combinaciones.

Capítulo V.

Se realiza un estudio de protección y coordinación de una fábrica perteneciente a la gran industria.

Capítulo VI.

Se da conclusiones y recomendaciones a nivel general y de fábrica.

I N D I C E

Página

CAPITULO I.

GENERALIDADES

I-1	Introducción	1
I-2	Consideraciones básicas de diseño	2
I-2.1	Seguridad	2
I-2.2	Confiabilidad	2
I-2.3	Simplicidad de operación	2
I-2.4	Mantenimiento	3
I-2.5	Regulación de voltaje	3
I-2.6	Flexibilidad	3
I-2.7	Costo inicial	5
I-3	Necesidad y objetivos de la protección y coordinación	5
I-3.1	Sistema de protección	5
I-3.2	Necesidad de la protección	6
I-3.3	Objetivos de la protección	7
I-3.4	Coordinación de protecciones	7
I-3.5	Necesidad de la coordinación de protec- ciones	8
I-3.6	Objetivos de la coordinación de protec- ciones	8

CAPITULO II.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

		<u>Página</u>
II-1	Fusibles	9
II-1.1	Características	10
II-1.2	Clasificación	12
II-1.2,1	Fusibles limitadores de corriente	13
II-1.2,2	Fusibles no limitadores de corriente	16
II-1.3	Utilización	16
II-1.4	Selección	16
II-1.5	Porta - Fusibles	18
II-2	Interruptores	19
II-2.1	Características	19
II-2.1,1	Interruptores de potencia	19
II-2.1,2	Interruptores de caja moldeada	24
II-2.2	Selección	30
II-3	Relevadores	30
II-3.1	Relevadores de sobrecorriente	31
II-3.2	Características	31
II-4	Transformadores de Medida	41
II-4.1,1	Transformadores de corriente	41
II-4.1,2	Transformadores de voltaje	45

CAPITULO III.

ESTUDIO DE LA PROTECCIÓN

III-1	Planificación de la protección	47
III-2	Estudio de corto-circuitos	49
III-2.1	Método de cálculo de corrientes de corto-circuito	50
III-2.1,1	Método del M.V.A.	50

		<u>Página</u>
III-2.1,2	Descripción del método	50
III-2.1,3	Cálculo de la corriente de corto-circuito asimétrico	54
III-2.1,4	Cálculo de corto-circuito trifásico	56
III-2.1,4	Cálculo de corto-circuito Fase-Tierra	56
III-3	Criterios generales de protección	59
III-3.1	Instalaciones eléctricas y protección para motores	60
III-3.2	Protección de transformadores	64
III-3.3	Protección de Generadores	65
III-3.4	Protección de conductores	69

CAPITULO IV.

COORDINACION DE PROTECCIONES

IV-1	Planificación de la Coordinación	71
IV-2	Coordinación Fusible-Fusible	74
IV-3	Coordinación Relevador-Fusible	75
IV-4	Coordinación Interruptor-Fusible	77
IV-5	Coordinación Interruptor-Relevador	77
IV-6	Coordinación Relevador-Interruptor-Fusible	79
IV-7	Coordinación entre la protección del inte - rruptor de transferencia y los elementos de protección del sistema	79

CAPITULO V.

EJEMPLO DE APLICACION

V-1	Generalidades	85
V-2	Diagrama unifilar	87

		<u>Página</u>
V-3	Estudio de corto-circuitos	95
V-3.1	Cálculo de corto-circuito trifásico	97
V-3.2	Cálculo de corto-circuito Fase-Tierra	99
V-4	Protección del circuito escogido	110
V-5	Coordinación de las protecciones del circuito escogido	113

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI-1	Primera parte	122
VI-1.1	Conclusiones	122
VI-1.2	Recomendaciones	126
VI-2	Segunda parte	127
VI-2.1	Conclusiones	127
VI-2.2	Recomendaciones	128

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPITULO I

GENERALIDADES

I-1).- INTRODUCCION.

Las grandes cantidades de energía consumidas por las plantas industriales a bajos voltajes, hacen que una falla en su sistema pueda originar;

- a).- La paralización parcial o total de la planta en su producción, con sus consiguientes pérdidas económicas, que dependen del tipo de planta y rama de actividad.
- b).- Severos daños a equipos de procesamiento y/o servicio, que son de difícil reparación y de costo elevado.
- c).- Daño al personal.

Estos daños hacen que todo sistema de potencia utilizado en industrias, comercios y residencias, cumplan condiciones de diseño, para la utilización del equipo en condiciones de seguridad para el personal y dando tanta confianza en la continuidad del servicio como sea económicamente factible.

Lo relativo a la importancia de lo económico y condiciones de seguridad, pueden variar un tanto con el tipo de sistema, ya

que no es adaptable un tipo standard de sistema de potencia para todas las industrias, porque las plantas raramente tienen los mismos requerimientos. Los requerimientos específicos deben ser analizados para cada planta, y el diseño de su sistema debe tender a cumplirlos.

I-2).- CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO.

La continuidad en la producción y/o servicio, es tan importante en una industria, como el mismo sistema de potencia, ya que, en los dos casos se diseña para el presente y futuro, tanto en operación como en condiciones de carga futura, por lo cual es necesario considerar ciertas condiciones en el diseño del sistema de potencia, que son;

I-2.1).- SEGURIDAD.

La seguridad del sistema y de la vida del personal que esta operando, son condiciones exigidas por cualquier código.

I-2.2).- CONFIABILIDAD.

La confiabilidad del sistema depende del tipo de planta industrial, comercio o residencia; hay plantas industriales o comerciales que pueden tolerar interrupciones, y otras que requieren un alto grado de continuidad debido a que su producción es en serie o que tienen el peligro de que sus productos se dañen tal es el caso de Frigoríficos. Los centros donde la vida humana

esta en peligro (hospitales..) la continuidad en el servicio es fundamental.

I-2.3).- SIMPLICIDAD DE OPERACIÓN.

Pocos sistemas industriales tienen el personal técnico calificado para la operación del sistema, por lo que es recomendable diseñar el sistema tan simple como sea posible en operación y en mantenimiento.

✓ I-2.4).- MANTENIMIENTO.

✓ El sistema de distribución debe considerar el mantenimiento preventivo en él. Accesibilidad y disponibilidad para reparar e inspeccionar con seguridad el sistema, debe darse.

✓ I-2.5).- REGULACION DE VOLTAJE.

Una regulación pobre va en decremento de la vida y operación del equipo; (Ver tablas I y II) . El voltaje debe estar dentro de los límites de tolerancia del equipo, tolerancias del 3 - 4% son aceptables en sistemas industriales.

I-2.6).- FLEXIBILIDAD.

Flexibilidad es la adaptabilidad del sistema al desarrollo y expansión, así como a cambios, cuando varios requerimientos de la planta lo requieren. Por lo que debe ser objeto de un estudio

TABLA I

EFECTOS DE VARIACIONES DE VOLTAJE EN LAMPARAS INCANDESCENTES

VOLTAJE APLICADO (V)	VOLTAJE NOMINAL DE LA LAMPARA					
	120 V		125 V		130 V	
	Vida %	Iluminación %	Vida %	Iluminación %	Vida %	Iluminación %
105	575	64	880	55	-	-
110	310	74	525	65	880	57
115	175	87	295	76	500	66
120	100	100	170	88	280	76
125	58	118	100	100	165	88
130	34	132	59	113	100	100

TABLA II

EFECTOS DE VARIACIONES DE VOLTAJE EN LAS CARACTERISTICAS DE MOTORES DE INDUCCION

CARACTERISTICAS	FUNCION DEL VOLTAJE	VARIACIONES DE VOLTAJE	
		VOLTAJE 90 %	VOLTAJE 110 %
Arranque y Torque Mx.	v^2	Disminuye 19%	Aumenta 21%
Velocidad Sincrónica	Cte	No cambia	No cambia
Deslizamiento	$1/v^2$	Aumenta 23%	Disminuye 17%
Velocidad a Carga Mx	Vel. S	Disminuye 1½%	Aumenta 1%
Rendimiento a ¾ carga	-	No cambia	No cambia
Rendimiento a carga Mx	-	Disminuye 2%	Aumenta ½-1 %
Rendimiento a ½ carga	-	Aumenta 1-2%	Disminuye 1-2%
F.P a ¾ de carga	-	Aumenta 2-3%	Disminuye 4%
F.P. a carga Mx.	-	Aumenta 1%	Disminuye 3%
F.P. a ½ carga	-	Aumenta 4-5%	Disminuye 5-6%
I a carga Mx	-	Aumenta 11%	Disminuye 7%
I arranque	V	Disminuye 10-12%	Aumenta 10-12%
Aumento de Temp.	-	Aumenta 6-7%	Disminuye 1-2%
Max. Capacida Sobrecg	v^1	Disminuye 19%	Aumenta 21%

profundo, el voltaje del sistema, clasificación de equipos, espacio adicional para futuros equipos y capacidad para incrementar carga.

I-2.7).- COSTO INICIAL.

Todos los puntos antes mencionados son importantes, pero el saber escoger la mejor alternativa entre varios diseños es a no dudarlo lo más importante para el industrial que busca una rentabilidad alta. Para otros casos es recomendable el buen diseño técnico, antes que el bajo costo de un mal diseño, (hospitales).

I-3).- NECESIDAD Y OBJETIVOS DE LA PROTECCION Y COORDINACION.

(Ref, 1 y 2)

El estudio del sistema de protección y coordinación en un sistema de potencia industrial, sirve para escoger la apropiada protección y darle su correcta aplicación; su importancia técnico-económica es indiscutible, pero desgraciadamente es uno de los aspectos menos apreciados y entendidos por parte del sector industrial.

I-3.1).- SISTEMA DE PROTECCION.

Se entiende como sistema de protección a todos los aparatos y equipos que tienen en un sistema de potencia la función definida como, " La detección y pronto aislamiento de la parte afectada del sistema, siempre que un corto-circuito o una anormalidad ocurra, y que podrían causar daños o efectos adversos a la

a la operación de alguna parte del sistema, o a la carga a la cual alimenta" 2

I-3.2).- NECESIDAD DE LA PROTECCION.

La necesidad de mantener una producción de acuerdo a sus intereses; los costos elevados del equipo de fuerza de distribución ; y el tiempo requerido para conseguir en el mercado y reemplazar el equipo dañado, hacen que en el diseño del sistema de potencia de una planta industrial, comercio o residencia, se hagan serias consideraciones para proporcionar protección adecuada a los diferentes equipos.

Dos recursos se dan para solucionar las consideraciones del sistema de protección, y son; (Ref, 3)

- a).- Incorporación de características de diseño del equipo, con el fin de impedir fallas.
- b).- Inclusión de previsiones para reducir los efectos de la falla cuando está ocurra.

El diseño moderno de sistemas de potencia emplea ambos recursos en diversos grados, ya que por excelente que sea el diseño original, siempre esta sometido a fallas debidas a errores humanos, y al desgaste del equipo y materiales por el paso del tiempo.

✓I-3.3).- OBJETIVOS DE LA PROTECCION.

El equipo de protección esta sometido al funcionamiento normal y anormal del sistema, por lo que tiene los siguientes objetivos;

- a).- Prevenir una falla
- b).- Minimizar los efectos de la falla
- c).- Minimizar la interrupción del servicio
- d).- Prevenir daños al personal

Esto se lo consigue gracias a que un buen sistema de protección debe tener las siguientes características;

- a).- Sensibilidad ante una falla
- b).- Selectividad del tipo de falla
- c).- Velocidad para eliminar la falla

✓I-3.4).- COORDINACION DE PROTECCIONES.

Es el estudio tendiente a conseguir el rendimiento óptimo del sistema de protección.

I-3.5).- NECESIDAD DE LA COORDINACION DE PROTECCIONES.

La confiabilidad de un sistema de protección, por excelentes que sean sus aparatos y equipos, será de dudoso crédito, sino se realiza el respectivo estudio de coordinación, cuya importancia viene dada por la función que desempeña en el sistema, y que es; " Minimizar el daño del sistema y sus componentes y limitar la extensión y duración de la interrupción del servicio, siempre que el equipo fallose o actos fortuitos ocurran en el sistema " 2

I-3.6).- OBJETIVOS DE LA COORDINACION DE PROTECCIONES.

El estudio de la coordinación de protecciones tiende a conseguir;

- a).- Dar mayor confiabilidad al sistema
- b).- Conseguir aislar la falla, con la menor salida de equipo y en el menor tiempo posible.
- c).- Escogitamiento técnico adecuado de los elementos de protección del sistema.
- d).- Rendimiento óptimo del sistema de protección
- e).- Mayor protección a la vida del personal.

CAPITULO II

ELEMENTOS DE PROTECCION

Fusibles, interruptores y relevadores, son los elementos más utilizados en el sistema de protección contra sobrecorrientes y corto-circuitos en sistemas de plantas industriales.

La capacidad y selección de estos elementos viene dada por las características de funcionamiento del sistema y condiciones térmicas y esfuerzos magnéticos que tienen que soportar cuando las altas magnitudes de corriente de corto-circuito o sobrecorrientes atraviezan sus partes constitutivas; además que hay que considerar el tipo de falla; equipo protegido y/o parte del sistema y grado de protección deseada.

II-1).- FUSIBLES. (Ref, 1, 2, 3)

Son los más viejos y simples de todos los aparatos de protección, y se definen como; Dispositivos dotados de cierto poder de ruptura y que están destinados a cortar el circuito eléctrico en el que están intercalados, cuando la corriente que los atravieza excede de cierto valor durante un tiempo suficiente; este corte se consigue por fusión de un conductor fusible que esta conectado en serie con el circuito.

II-1.1).- CARACTERISTICAS.

El tipo de material (Plata; cobre; Zinc; Aluminio; Aleaciones de plomo-estaño.. ect) , la longitud y la sección de un fusible dan las características principales del mismo. Estas características vienen expresadas en las curvas Tiempo-Corriente, (Ver Fg, II-1) que tienen tres tiempos, que son dados por el fabricante y que se definen como;

a).- Tiempo de Fusión.

Es el intervalo entre la iniciación de la corriente de falla y el inicio del arco.

b).- Tiempo de Arco;

Es el intervalo que dura este, y que es aproximadamente 20% más del tiempo mínimo o de fusión.

c).- Tiempo de Despeje.

Es la suma de los dos tiempos anteriores

En algunos casos se da el tiempo corto de fusión; que es una tolerancia de aproximadamente 25% menos del tiempo de fusión, y que es muy util para estudios de coordinación.

Además de estas características, los fusibles por ser un aparato sensor e interruptor en si mismo, tienen las siguientes ca-

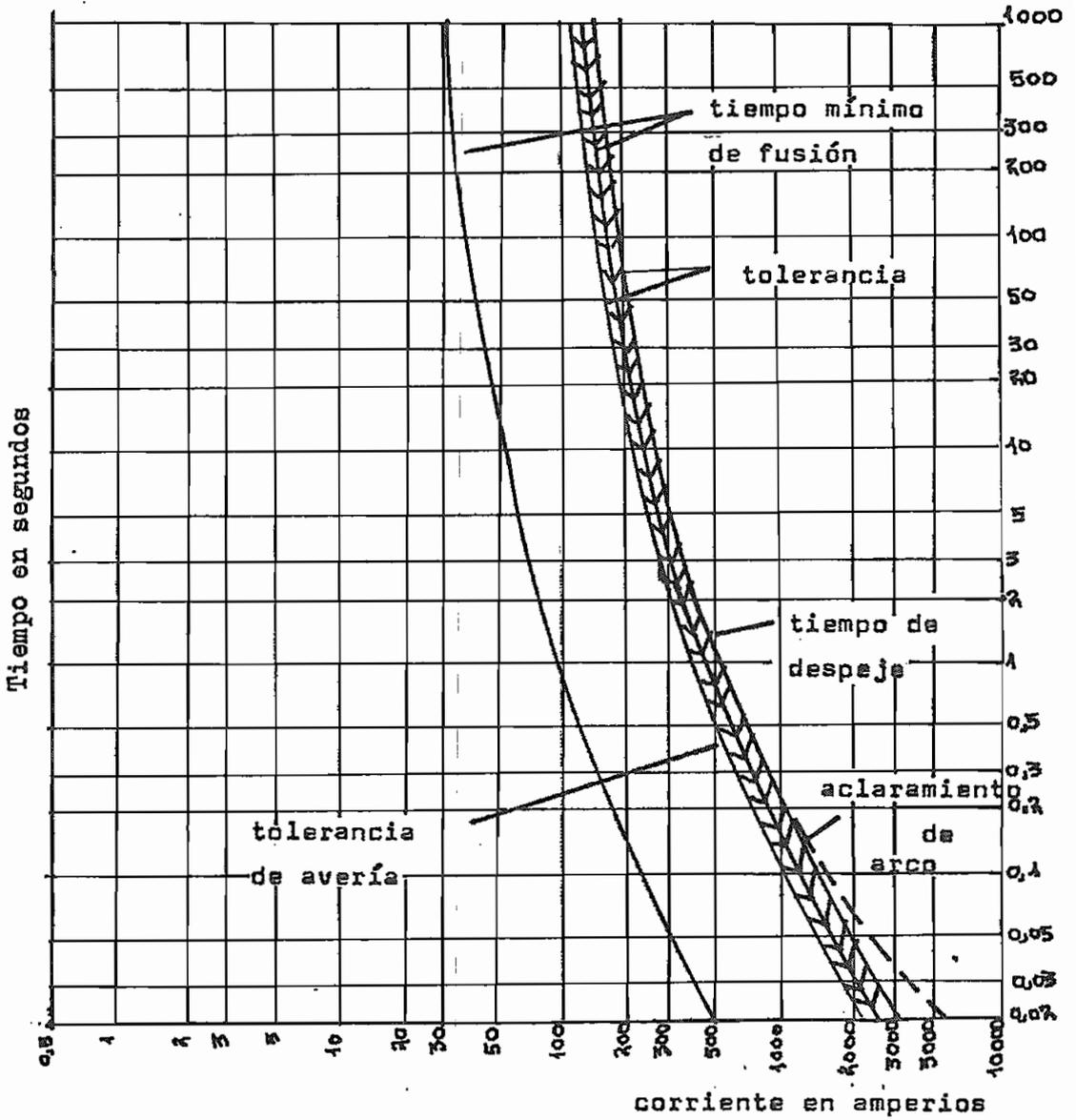


FIG. II-1
 CURVAS TÍPICAS CARACTERÍSTICAS
 TIEMPO-CORRIENTE DE FUSIBLES

racterísticas adicionales;

- a).- Protege contra sobrecorrientes, y actúa directamente contra corto-circuitos.
- b).- No pueden aislar completamente una falla, ya que son elementos monofásicos.
- c).- Las características de la curva tiempo-corriente, cambian con el tipo de fusible y tamaño del mismo.
- d).- Los fusibles una vez que operan deben cambiarse por otros de iguales características, ya que, si se lo reemplaza con otros diferentes, la calidad de la protección disminuye.
- e).- Los fusibles son elementos de operación térmica, por lo que su operación se ve afectada por variaciones en la temperatura ambiental.
- f).- El tamaño es generalmente limitado por consideraciones térmicas. Fusibles grandes necesitan más ventilación que los pequeños, debido al gran calor que producen durante la interrupción de la falla.

II-1.2).- CLASIFICACIÓN.

Los fusibles utilizados en bajo voltaje, son de variada forma y

capacidad, (Ver Fig, II-2), pero por su operación se los puede dividir en dos clases; (Ref, 3)

a).- Fusibles limitadores de corriente

b).- Fusibles no limitadores de corriente

II-1.2,1).- Fusibles limitadores de corriente.(Ref, 5)

Los fusibles para valores de corriente, igual o cercana a su capacidad de interrupción, se funden en un tiempo menor a medio ciclo, en sistemas con frecuencia de 60 ciclos; Sin embargo el arco formado es conductor y permite que la corriente alcance su máximo valor de cresta antes de extinguirse. Los fusibles que tienen un aditamento especial que extinguen el arco antes que esto ocurra, se llaman LIMITADORES DE CORRIENTE siendo la mayoría auto-protegidos, es decir son capaces de extinguir el arco en cualquier valor de corriente que este dentro de los límites de su capacidad de interrupción.

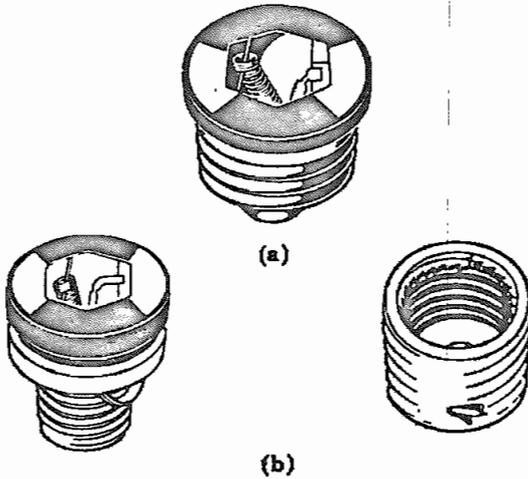
En la Fig, II-3 se observa las características del fusible limitador de corriente, que poseen dos importantes ventajas, particularmente para protección de ramales de circuitos derivados; estas ventajas son;

a).- La operación extremadamente rápida que poseen

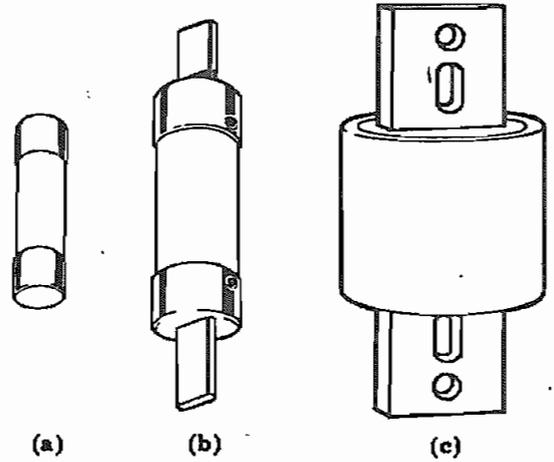
b).- ellos actualmente limitan la magnitud de la corriente de corto-circuito, en valores menores que los disponibles por

FUSIBLES DE BAJO VOLTAJE

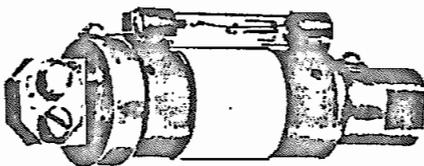
FIG. II-2



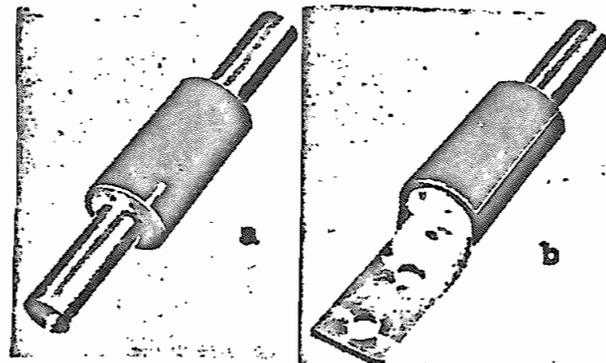
- a).- Fusibles tapón y fusibles con base Edison
- b).- Fusible tipo S y adaptador



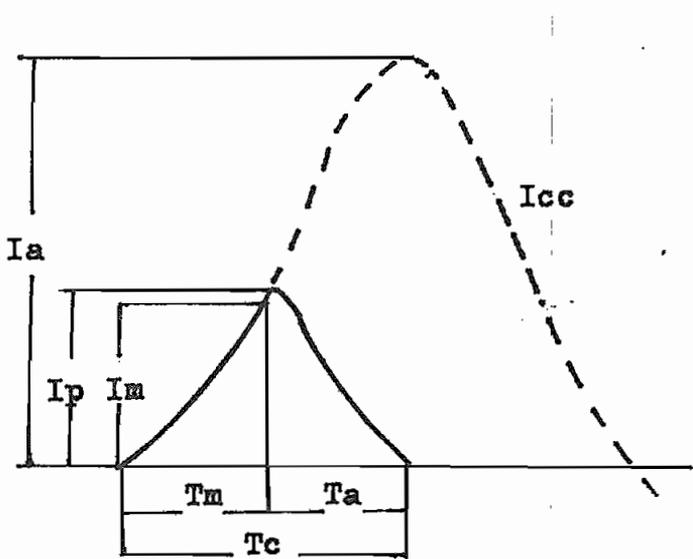
- a).- Fusible cartucho (0-60 A)
- b).- Tipo hoja-cuchillo (70-600 A)
- c).- Tipo perno (601- 6000A)



Fusible capacitor con indicador para protección de capacitor de corrección de factor de potencia



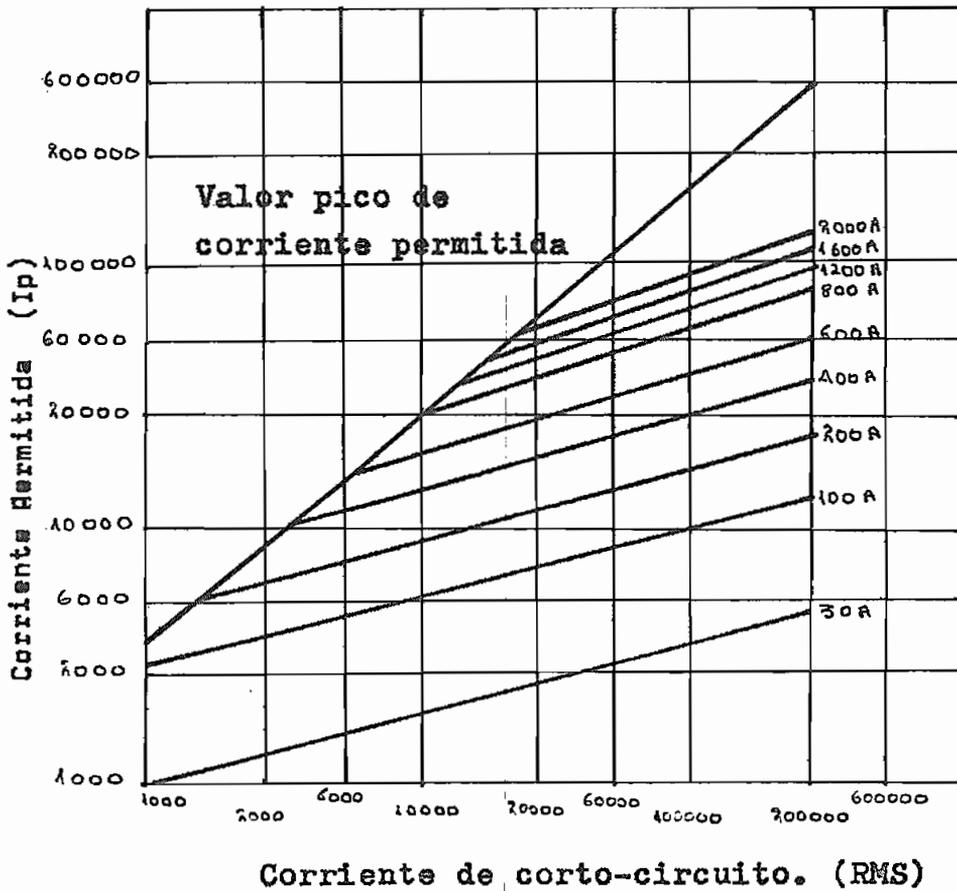
- a).- terminal tibular
- b).- terminal tubular-perno.



- Icc = Corriente de corto-circuito sin fusible
- Im = Corriente de fusión
- Ip = Corriente permitida
- Ia = Corriente pico sin fusible
- Tm = Tiempo de fusión
- Ta = Tiempo de arco
- Tc = Tiempo de despeje

FIG. II-3

CARACTERISTICAS DE FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE



el corto-circuito; ello ayuda a usar conductores más pequeños y menor equipo en circuitos derivados. (Ref, 3)

II-1.2,2).- Fusibles no limitadores de corriente.(Ref, 3)

Son fusibles que no tienen la propiedad de limitar la corriente de corto-circuito, y que también operan más rápidamente que los interruptores en corrientes cerca de su capacidad de interrupción.

II-1.3).- UTILIZACION.

Los fusibles limitadores de corriente, son utilizados para proteger principalmente; barras derivadas; conductores; transformadores y circuitos derivados.

Los fusibles no limitadores de corriente se utilizan en la protección de motores, (con fusibles con retardo de tiempo). Los conductores pequeños, son protegidos para altas magnitudes de corriente de corto-circuito con fusibles no limitadores de corriente, con relaciones de 300-400% de la capacidad de conducción del conductor.

II-1.4).- SELECCION.

La adecuada selección de un fusible depende de condiciones de servicio, físicas, eléctricas y económicas.

Dentro de las condiciones de servicio y físicas, se considera lo

siguiente;

- a).- Si se tiene un sistema eléctrico, donde las fallas ocurran con mucha frecuencia y estas siempre interrumpen el servicio; los fusibles no son recomendables económicamente, ya que, si bien su costo inicial es bajo, su continuo remplazo encarecerá la protección.
- b).- Si se desea una continuidad en el servicio, un fusible no es recomendable, pues la restitución de este es más lenta que con un interruptor automático
- c).- Si se carece de personal de mantenimiento calificado, los fusibles no son recomendables.

En las condiciones eléctricas se considera lo siguiente;

- a).- Rango de voltaje.

Es la facilidad del fusible para extinguir rápidamente el arco luego de fundirse, y prevenir que el voltaje del circuito abierto del sistema reencienda nuevamente el arco entre terminales que quedan del elemento fusible. Un fusible nunca debe ser aplicado, en sistemas donde el voltaje del sistema exceda del voltaje nominal del fusible. Se construyen fusibles para voltajes nominales de (125, 250, 300, 500, 600 Voltios).

b).- Rango continuo de corriente.

Para brindar confiabilidad en la protección contra sobrecargas y corto-circuitos, el rango del amperaje de un fusible debe ser equivalente a la capacidad de corriente que circula normalmente por el circuito, a una temperatura ambiente de 25 grados centígrados.

c).- Capacidad de ruptura.

Es la capacidad que tiene el fusible para abrir el circuito bajo condiciones severas de falla, con destrucción violenta de sí mismo. Los fusibles de bajo voltaje, pueden tener rangos de interrupción de (10.000, 50.000, 100.000, 200.000 Amperios).

d).- También se considera el rango de limitación de corriente y condiciones para el estudio de coordinación.

II-1.5).- PORTA FUSIBLES.

Son aparatos que están destinados a sostener al fusible. Se construyen bajo normas de frecuencia, capacidad de conducción en régimen permanente, voltaje nominal, capacidad de interrupción y capacidad de corriente momentánea.

Para la selección de un porta-fusible, se considera lo siguiente;

a).- Voltaje del sistema

b).- Máxima corriente disponible en el punto de aplicación

c).- Corriente en régimen permanente en el punto de aplicación

Para su adecuada aplicación, se considera factores de seguridad condiciones de trabajo y sitio de aplicación.

II-2).- INTERRUPTORES. (Ref, 1, 2, 3, 5)

Son aparatos de maniobra, para la conexión y desconexión voluntaria o automática de circuitos de corriente, en los cuales todas las piezas que sirven para la interrupción están fijamente unidas sobre una base común.

Los interruptores de bajo voltaje vienen dados en dos tipos básicos que son;

a).- Interruptores de potencia. (Electromagnético)

b).- Interruptores de caja moldeada. (Termomagnéticos)

II-2.1).- CARACTERISTICAS.

II-2.1,1).- Interruptores de potencia.

Son aparatos que pueden interrumpir un circuito bajo condiciones de carga; su aparato sensor (bobina) y aparato detector (interruptor propiamente dicho) están separados.

Sus características vienen dadas por sus curvas, (Ver Fig, II-4) . En las cuales se distinguen tres zonas de disparo que son; instantáneo; corto retardo de tiempo; largo retardo de tiempo. Estas zonas son calibrables en el lugar de la instalación y esto permite realizar la protección y coordinación con la exactitud deseada.

Además de las características, dadas por las curvas se tiene como características adicionales las siguientes.

- a).- Brindan protección contra sobrecargas y corto-circuitos
- b).- Tienen reconexión automática
- c).- Pueden ser controlados a distancia en su disparo y reconexión.
- d).- Se los puede regular y calibrar de acuerdo a la necesidad de protección y coordinación.

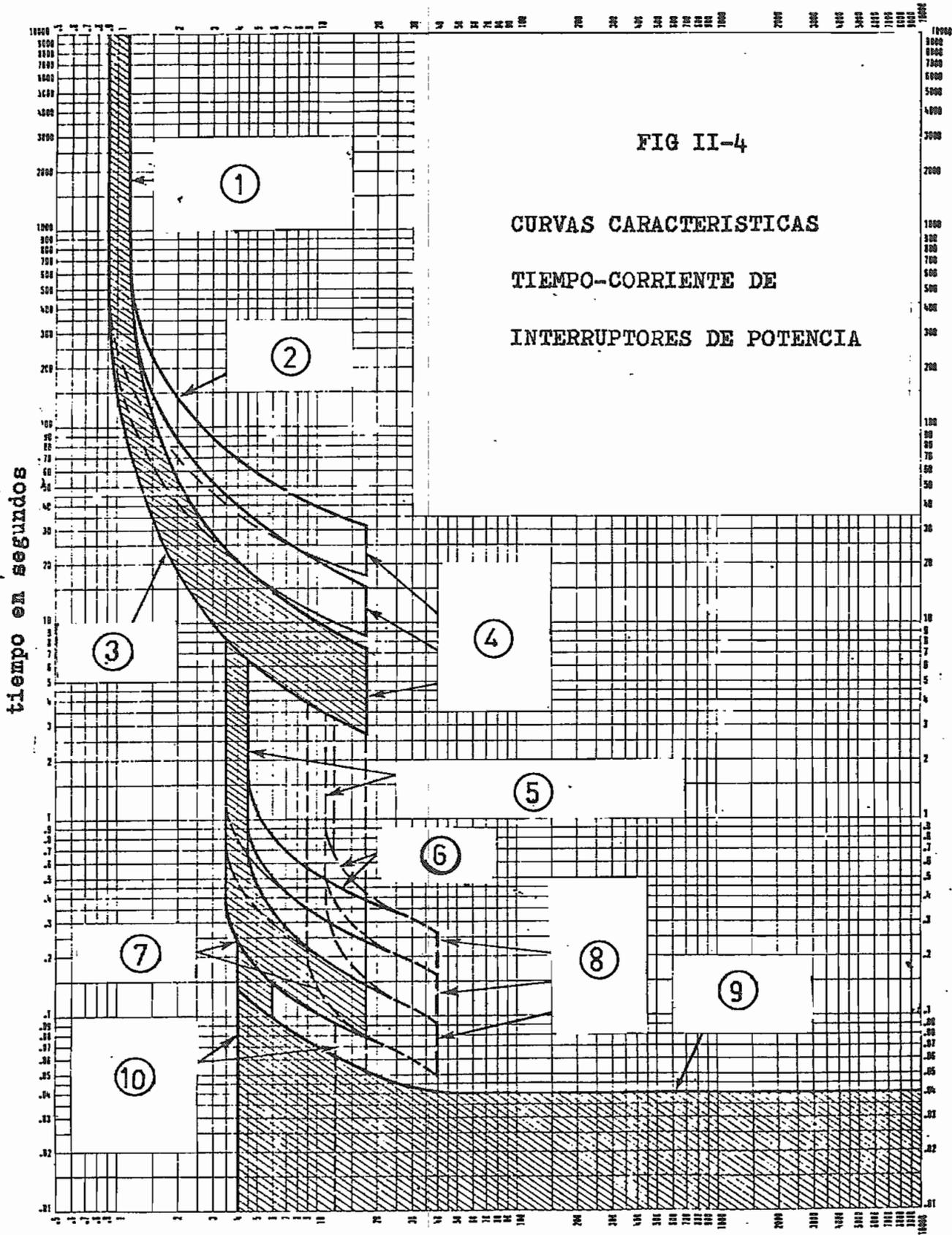
Los interruptores de potencia se aplican principalmente en;
(Ref, 5)

- a).- Protección de equipo y cables
- b).- Protección de subestaciones unitarias, tableros de maniobra y tableros de distribución.
- c).- En lugares de distribución principal de energía

FIG II-4

CURVAS CARACTERISTICAS
TIEMPO-CORRIENTE DE
INTERRUPTORES DE POTENCIA

tiempo en segundos



Relación de corriente a la bobina

Nominación

- 1.- Ajuste en el sitio recomendado para el largo retardo de tiempo es de 80%, 100%, 120%, 140%, o 160% de la capacidad de la bobina de disparo. (El gráfico está en 100%)
- 2.- Banda del límite superior de largo retardo de tiempo (ver nota 1)
- 3.- Banda del límite inferior de largo retardo de tiempo (ver nota 2).
- 4.- Bandas de largo retardo de tiempo, (máxima, intermedia y mínima).
- 5.- Ajuste en el sitio recomendado para el corto retardo de tiempo es de 400%, 700%, o 1000% de la capacidad de la bobina de disparo. (El gráfico está a 400% y 1000%).
- 6.- Límite superior de la banda de corto retardo de tiempo (ver nota 1).
- 7.- Límite inferior de la banda de corto retardo de tiempo (ver nota 2)
- 8.- Bandas de corto retardo de tiempo, (máxima, intermedia y mínima).
- 9.- Tiempo máximo de aclaramiento del interruptor de potencia con disparo instantáneo.
- 10.- Ajustes instantáneos desde alrededor de 500% a 1500% de capacidad de disparo de la bobina, (El gráfico está colo -

cado en 500% y 1500%) ver nota 3

Nota 1 .- El límite superior de la banda representa el tiempo desde el inicio de la sobrecorriente hasta la interrupción por medio del interruptor. El tiempo de disparo será igual a/ o menor que el límite superior de la banda. El tiempo de recierre del aparato es de 5 S máximo (largo retardo de tiempo) y 1 Sg máximo para corto retardo de tiempo.

Nota 2.- El límite inferior de la banda representa el tiempo para lo cual la sobrecorriente puede persistir en el valor dado y luego alrededor del 80% del tiempo de largo retardo y 20% del corto retardo de tiempo dispare el interruptor. El mínimo tiempo de disparo será siempre mayor del límite más inferior de la curva. El tiempo de recierre del aparato es 4 Sg máximo para largo retardo de tiempo y 1 Sg máximo en corto retardo de tiempo.

Nota 3 .- La selección instantánea alrededor del punto determina la interrupción en la curva de tiempo de retraso. Tiene $\pm 20\%$ de variación.

Nota 4 .- Rangos de bobina.- 15, 20, 30, 40, 50, 70, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 800, 1000, 1200, 2000, 2500, 3000, 4000 Amperes.

II-2.1,2).- Interruptores de caja moldeada. (Ver Figs, 5 y 6)

Son aparatos que cortan un circuito bajo condiciones de carga y su aparato sensor e interruptor están en si mismo. Su funcionamiento esta basado en el efecto térmico y magnético.

Sus características están dadas por sus curvas, (Ver Fig, II-7) en la cual se tiene la zona de retardo de tiempo y la zona de disparo instantáneo. Estas zonas no son calibrables desde el exterior.

Existen interruptores de caja moldeada con fusible incorporados para protección de corto-circuitos. Su curva característica esta dada en la Fig, II-8 .

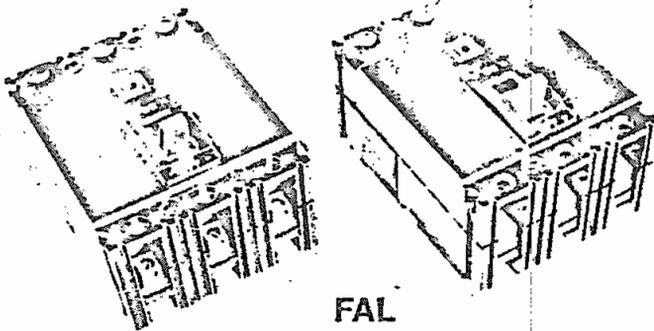
Además de las características dadas por las curvas, se adicionan otras que son;

- a).- Protege contra sobrecargas y corto-circuitos
- b).- Costo razonable y tamaño pequeño
- c).- La protección es automática y su reconexión es manual
- d).- Están disponibles con compensación de temperatura ambiental o sin él.

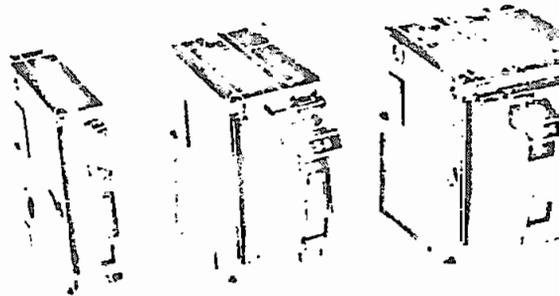
Los interruptores de caja moldeada se aplican en ; (Ref, 5)

- a).- Circuitos derivados y circuitos eléctricos en puntos que no excedan la capacidad de interrupción, de 2500 amperios de capacidad nominal.
- b).- Protección de cables
- c).- Protección de subestaciones unitarias
- d).- Lugares en donde los dispositivos de protección pueden estar sujetos al mal uso.

FIG. II-5



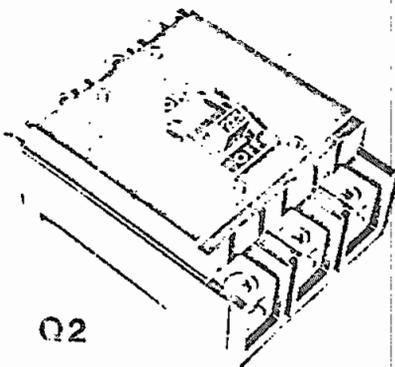
FAL



QO

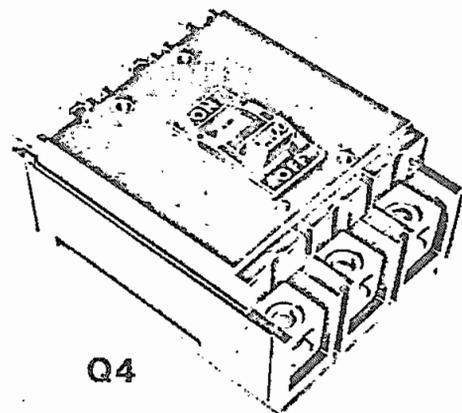
1, 2 y 3 polos. De 15 a 100 amps. 600 volts máximo en CA. 250 volts en CC. Recomendados para Sistemas de Distribución.

1, 2 / 3 polos. De 15 a 100 amps. 120/240 volt CA. Recomendados para Sistemas de Alumbr.



Q2

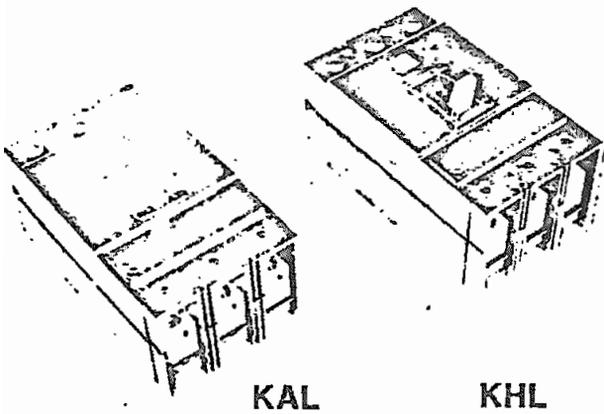
2 y 3 polos de 100 a 225 AMP. 240 volts máximo en CA. Recomendados para Sistemas de Distribución.



Q4

2 y 3 polos de 250 a 400 AMP. 240 volts máximo en CA. Recomendados para Sistema de distribución.

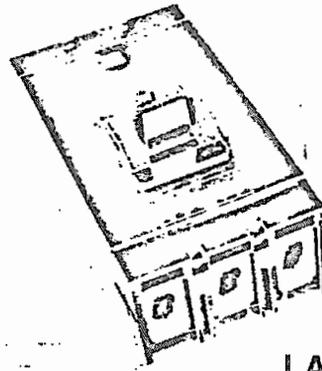
FIG. II-5



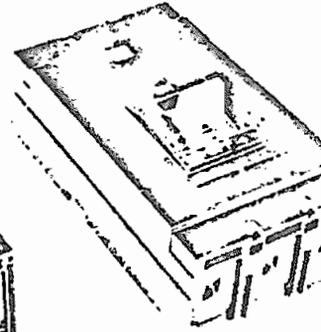
KAL

KHL

2 y 3 polos. De 125 a 225 amps. 600 volts máximo
 CA. 250 volts en CC. Recomendados para
 Sistemas de Distribución.



LAL



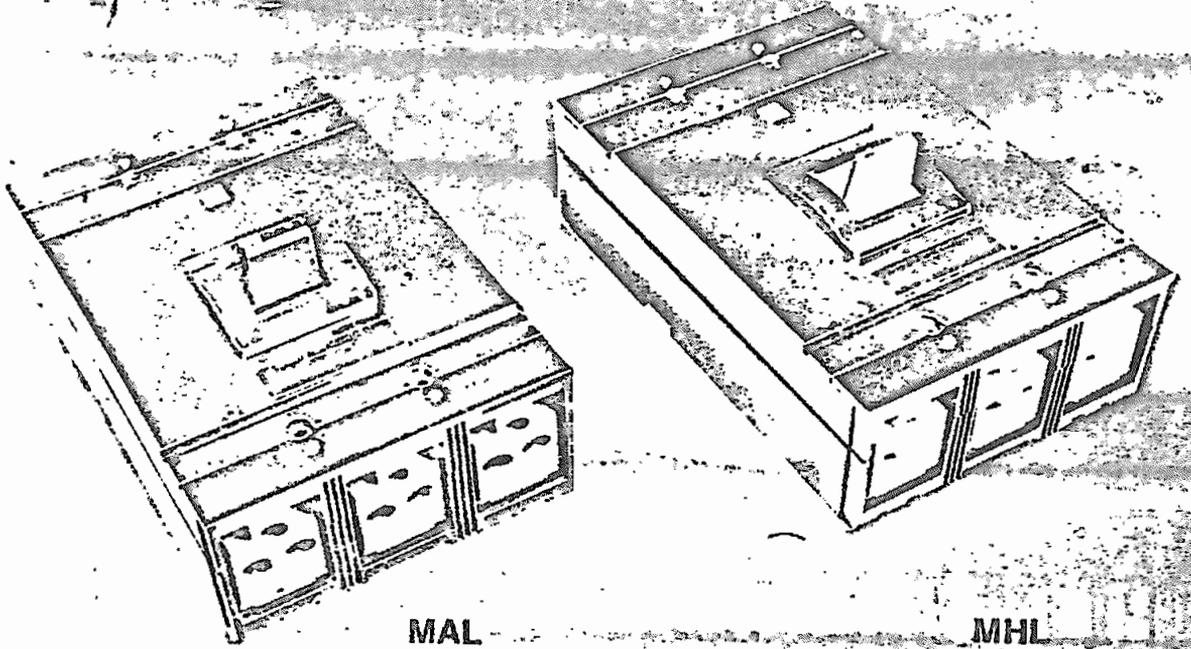
LHL

2 y 3 polos. De 225 a 400 amps. 600 volts máximo
 CA. 250 volts en CC. Recomendados para Sistem
 de Distribución.

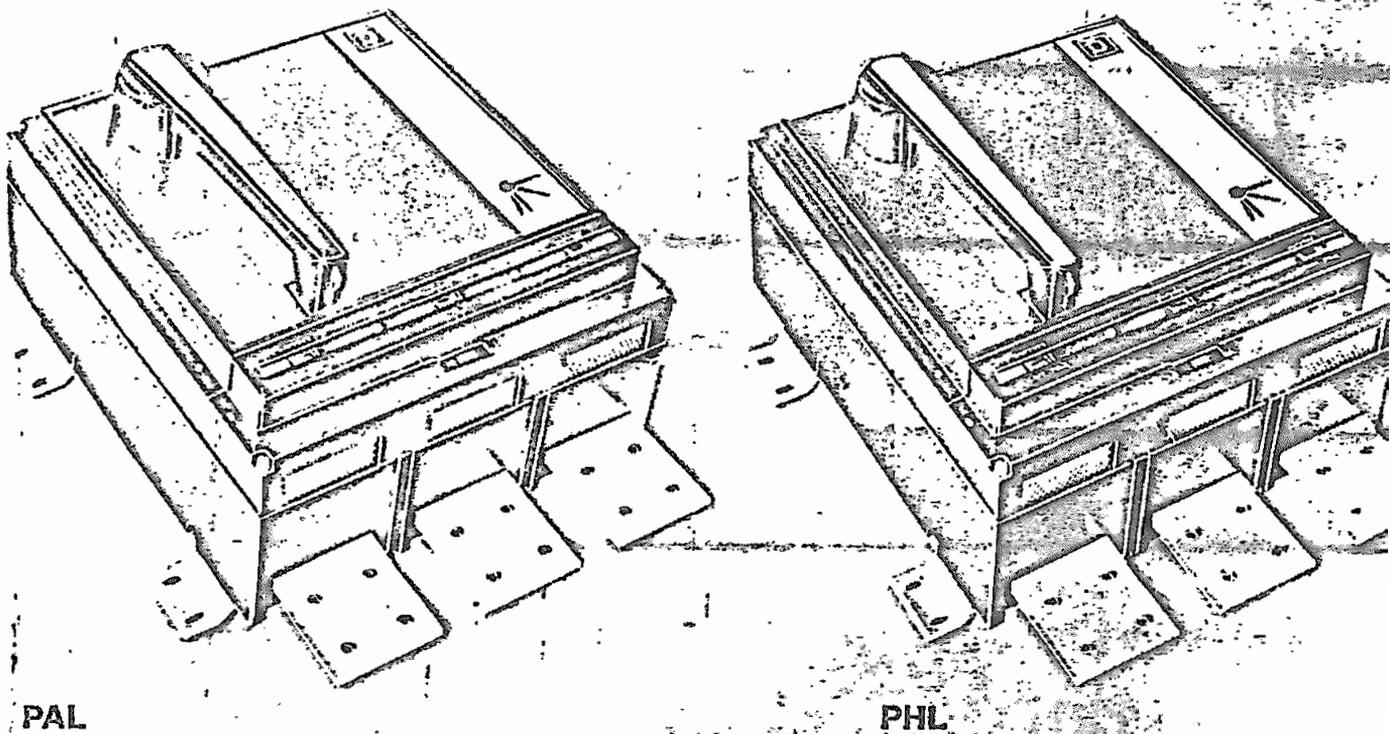
CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS

	No. DE POLOS	RANGO EN AMPERES	CAPACIDAD INTERRUPTIVA - R.M.S. AMPERES SIMETRICOS							
			BASADA SOBRE LA LISTA DE CAPACIDADES DE U. L.							
			VOLTS CA						VOLTS	
			120	120/240	240	277	480	600	125	
	1	15-50	5000/10000							
	2	15-70	5000/10000	5000/10000						
	3	15-50			5000/10000					
	2	100		5000/10000						
	3	70-100			5000/10000					
	2-3	100-225			10000					
	2-3	100-225			22000					
	2-3	250-400			22000					
	1	15-100	10000						5000	
	2	15-100			10000					
	3	15-100			10000					
V.	1	15-100	18000			14000				
	2	15-100			18000		14000			
	3	15-100			18000		14000			
	2	15-100			65000		25000	18000		
	3	15-100			65000		25000	18000		
	2	125-225			25000		22000	22000		
	3	125-225			25000		22000	22000		
	2	125-225			65000		35000	25000		
	3	125-225			65000		35000	25000		
	2	225-400			42000		30000	22000		
	3	225-400			42000		30000	22000		
	2	225-400			65000		35000	25000		
	3	225-400			65000		35000	25000		
	2	500-1000			42000		30000	22000		
	3	500-1000			42000		30000	22000		
	2	500-1000			65000		35000	25000		
	3	500-1000			65000		35000	25000		
	2	600-2000			65000		50000	42000		
	3	600-2000			65000		50000	42000		
	2	600-2000			125000		85000	65000		
	3	600-2000			125000		85000	65000		
	2	1600-2500			125000		85000	65000		
	3	1600-2500			125000		85000	65000		

FIG. II-6

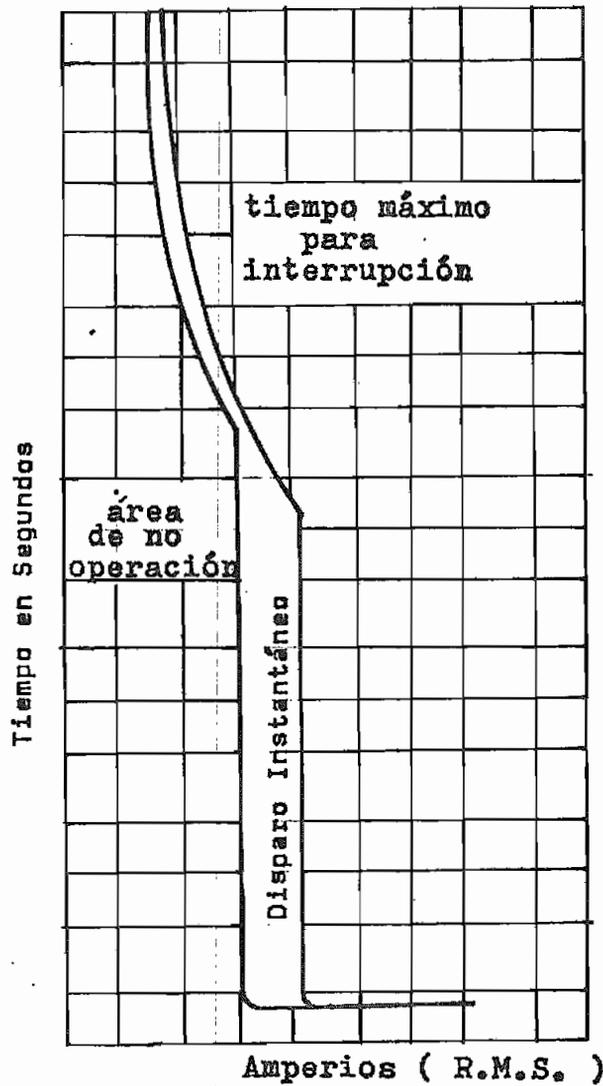


MAL MHL
2 y 3 polos. De 500 a 1000 amps. 600 volts máximo en CA. 250 volts en CC. Recomendados para
Sistemas de Distribución.



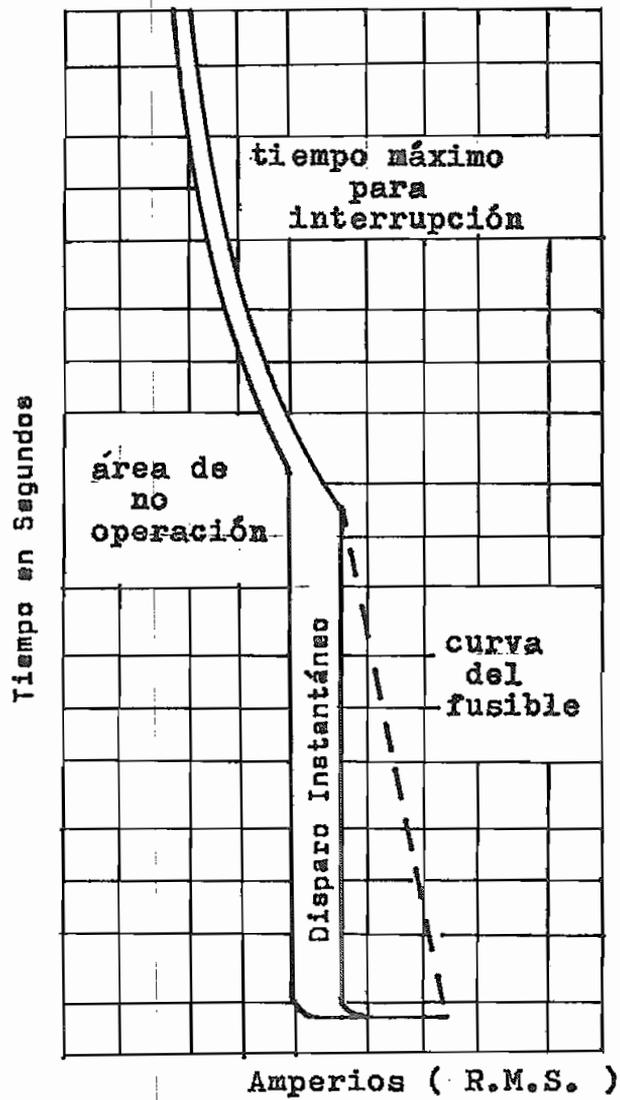
PAL PHL
2 y 3 polos. De 600 a 2000 amps. 600 volts máximo en CA. Recomendados para Sistemas de Distribución.

FIG. II-7



Curva característica tiempo- corriente
de interruptores de caja moldeada

FIG. II-8



Curva característica tiempo-corriente de interruptor de caja moldeada con fusible.

II-2.2).- SELECCION. (Ref, 2)

La selección apropiada de interruptores de caja moldeada o de potencia, involucran consideraciones que van más allá de las condiciones de voltaje, corriente y rango de interrupción. El rendimiento de un interruptor será influenciado por muchos factores relacionados con el tipo de instalación, condición ambiental y aun por factores de carácter no eléctrico.

Las consideraciones más tomadas en cuenta son; tipo de voltaje del sistema; rango continuo de corriente; máxima y mínima corriente de corto-circuito; tipo de servicio; tipo de carga y sus características; tipos de conductores; sistema de suministro para el interruptor; otros aparatos de protección y consideraciones de operación y mantenimiento.

II-3).- RELEVADORES. (Ref, 4, 2, 1, 5)

Son dispositivos que provocan un cambio en uno o más circuitos del control eléctrico, cuando la cantidad o cantidades medidas a las cuales responde cambian de una manera prescrita. Sus principios de funcionamiento son dos

a).- De atracción electromagnética. (Ref, 4)

Que funcionan en virtud de un embolo que es atraído dentro de un selenoide o una armadura que es atraída por los polos de un electroimán. Estos relevadores pueden ser accionados por magnitudes

de C-D o C-A .

b).- De inducción electromagnética.

Que funcionan en base al principio del motor de inducción, por medio del cual, el par se desarrolla por inducción en un rotor; este principio de funcionamiento se aplica solo a relevadores accionados por C- A. Los relevadores de estado sólido tienen características comparables a los de tipo de inducción, excepto que los de estado sólido tienen tiempos de recierre más rápidos y tiempos de operación menores.

II-3.1).- RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.

Son los más utilizados en sistemas de potencia industriales, y son aparatos sensores solamente, por lo que deben ser usados en conjunto con algún tipo de aparato interruptor para cortar un corto-circuito y aislar la falla. Estos relevadores pueden ser direccionales y no direccionales en su acción, y pueden ser instantáneos o responder con retardo de tiempo. Varias características tiempo-corriente semejante a ; tiempo inverso; tiempo muy inverso; tiempo extremadamente inverso y tiempo mínimo son disponibles sobre un amplio rango de corrientes, (Ver tabla N. 3)

II-3.2).- CARACTERISTICAS.

Las características principales de un relevador, esta dada por sus curvas tiempo-corriente; por lo que en las Figs, II-9 a II-15 se dan las curvas de una variedad de relevadores de sobre -

corrientes. La Fig, II-16 es la comparación de curvas típicas dibujadas para relevadores de sobrecorriente.

TABLA N 3 (Ref, 2)

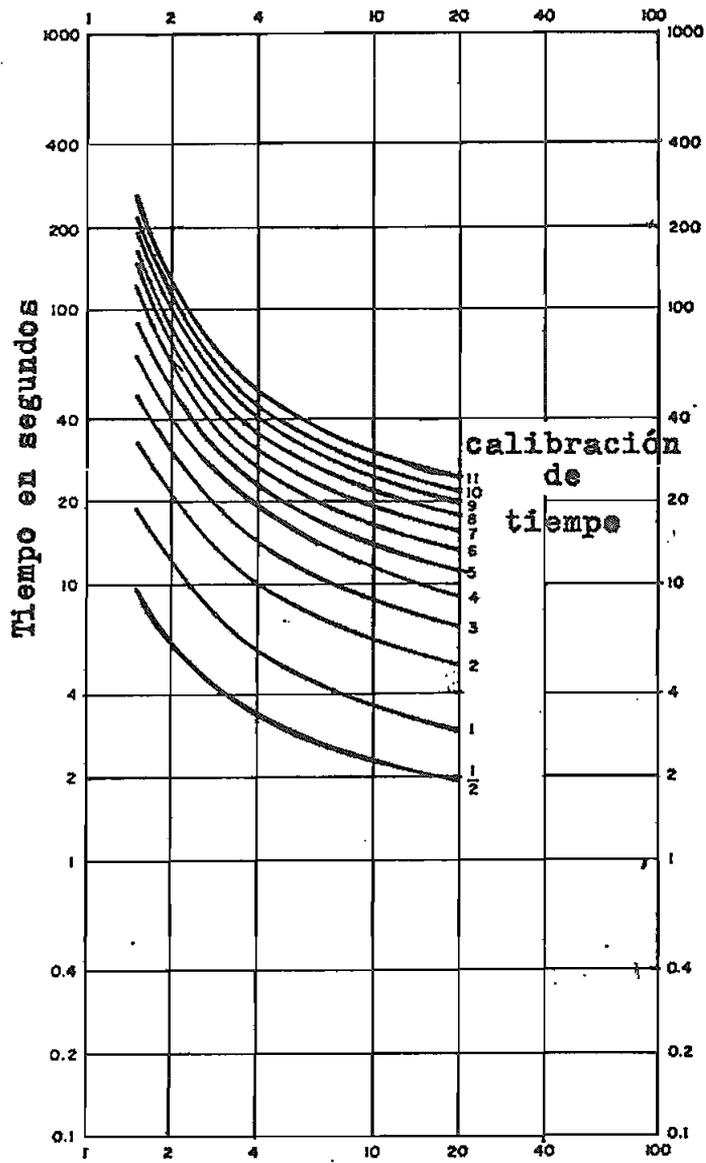
RANGO	TAPS
0,5-2,5 (o 0,5-2)	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5.
1,5-6 (o 2-6)	1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6
4-16 (o 4-12)	4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 16

El escogitamiento de la protección por relevadores, en lugar de otra protección esta dada por sus tres características funcionales; Sensibilidad; Selectividad; Velocidad de operación. Para la aplicación de relevadores en sistemas industriales se considera;

- a).- Mantenimiento
- b).- Fuente de energía para el disparo
- c).- Grado de selectividad requerido
- d).- Carga del sistema
- e).- Capacidad de los cables

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
PARA RELEVADOR DE TIEMPO-CORTO

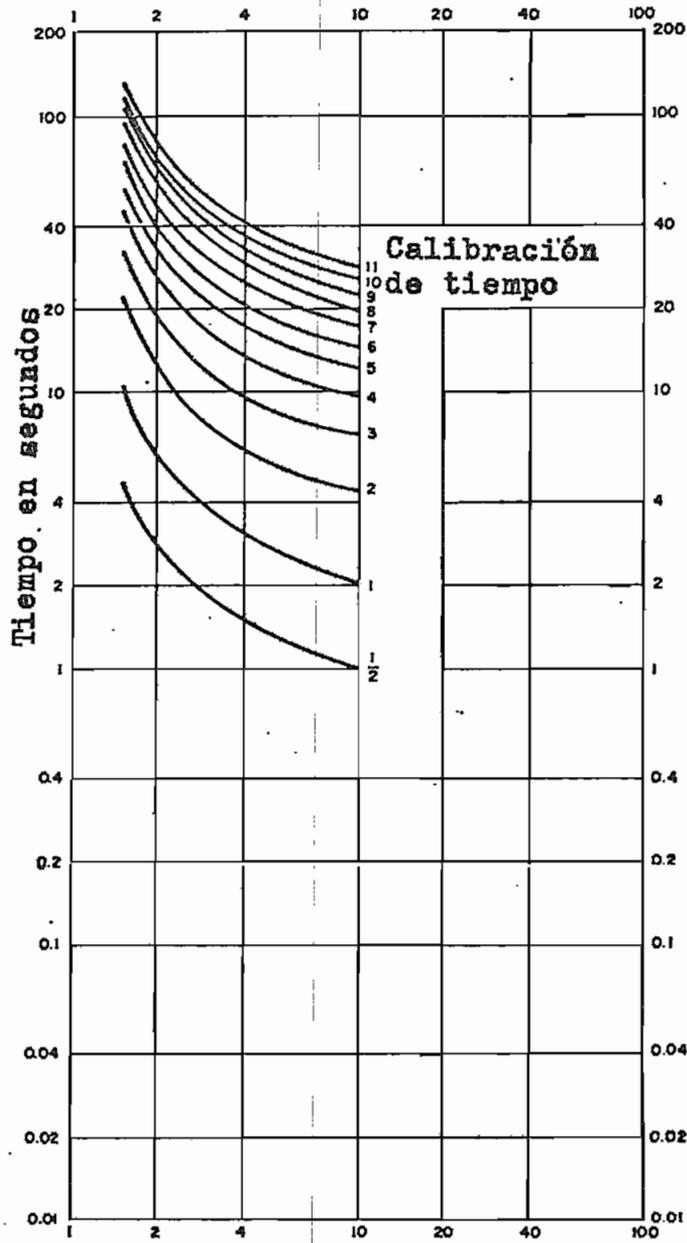
FIG. II-9



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
PARA RELEVADOR DE TIEMPO-CORTO

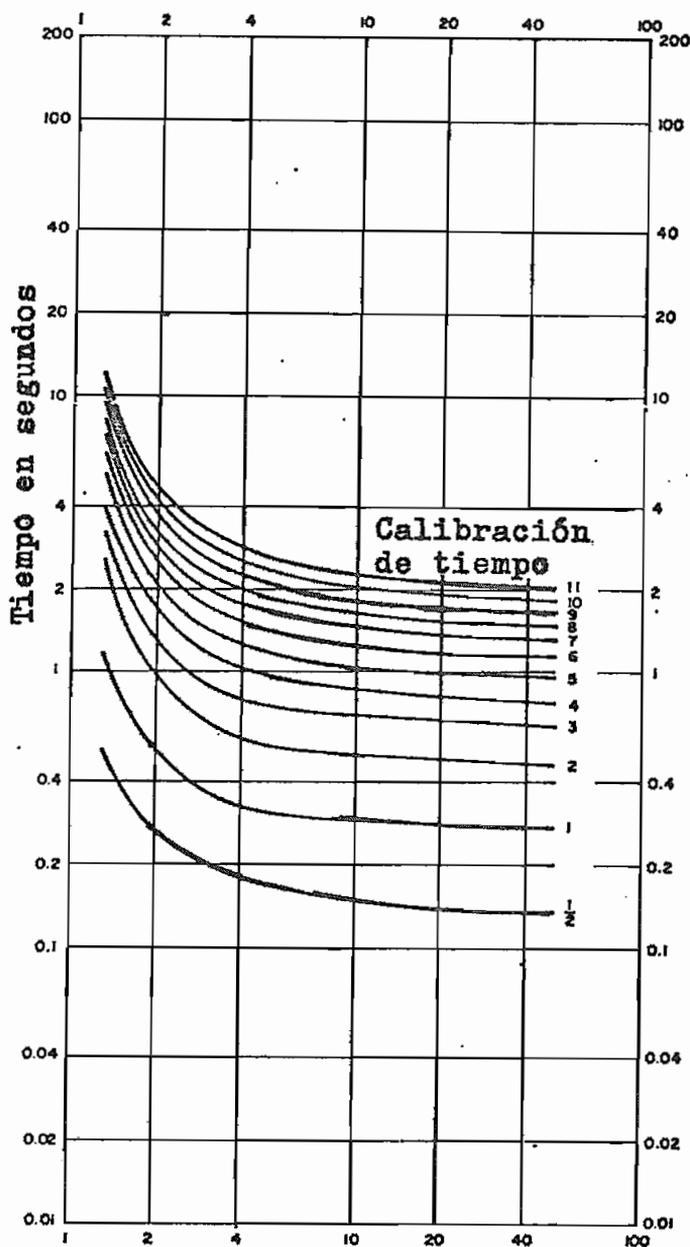
FIG. II-10



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
PARA RELEVADOR DE TIEMPO-LARGO.

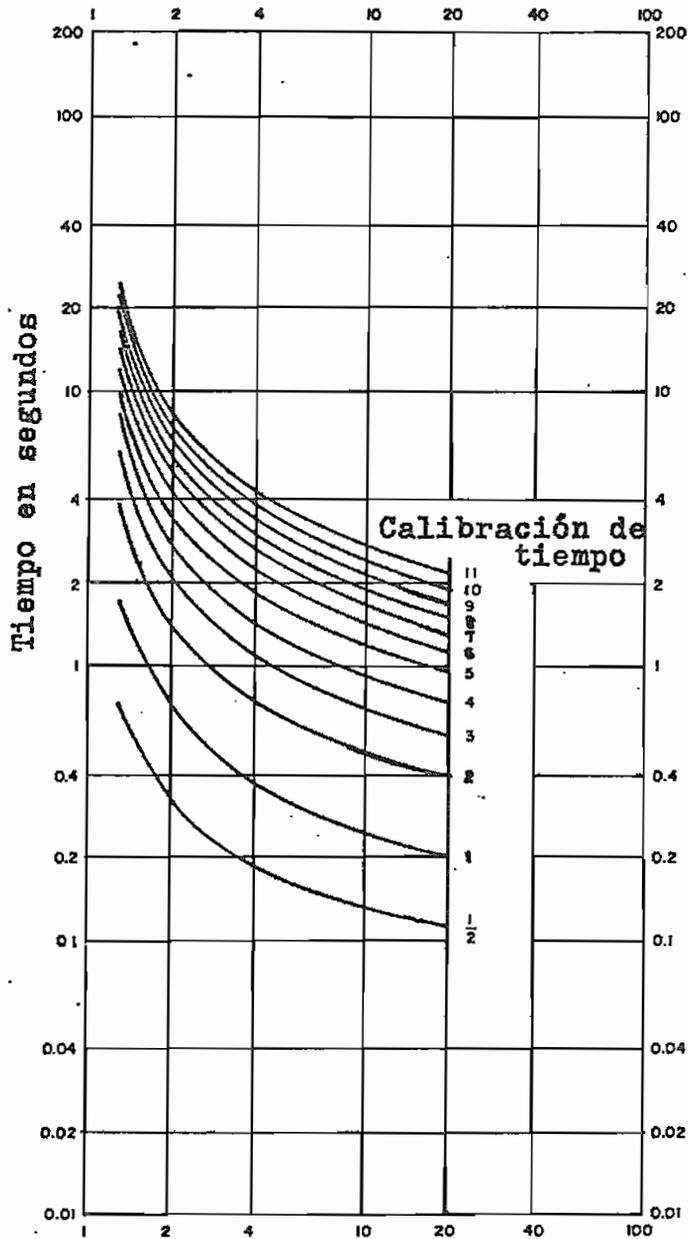
FIG. II-11



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
 PARA RELEVADOR DE TIEMPO MINIMO DEFINIDO

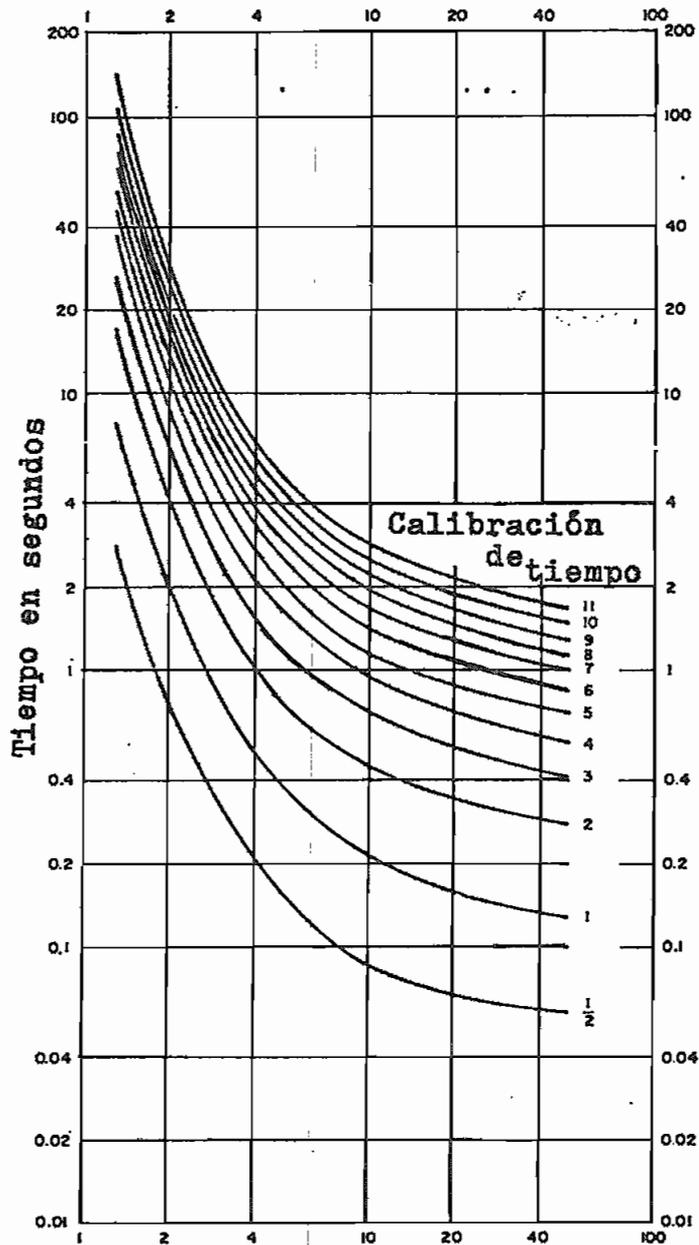
FIG. II-12



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
 PARA RELEVADOR DE TIEMPO INVERSO MODERADO

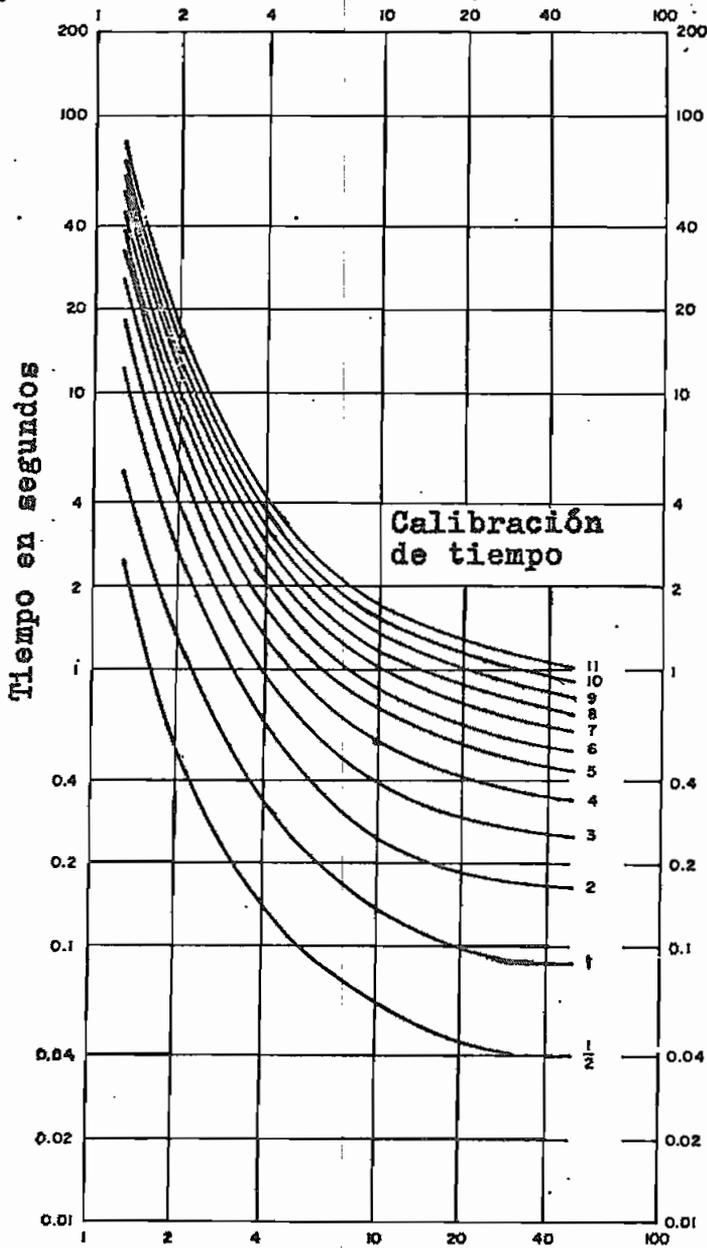
FIG. II-13



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
 PARA RELEVADOR DE TIEMPO INVERSO

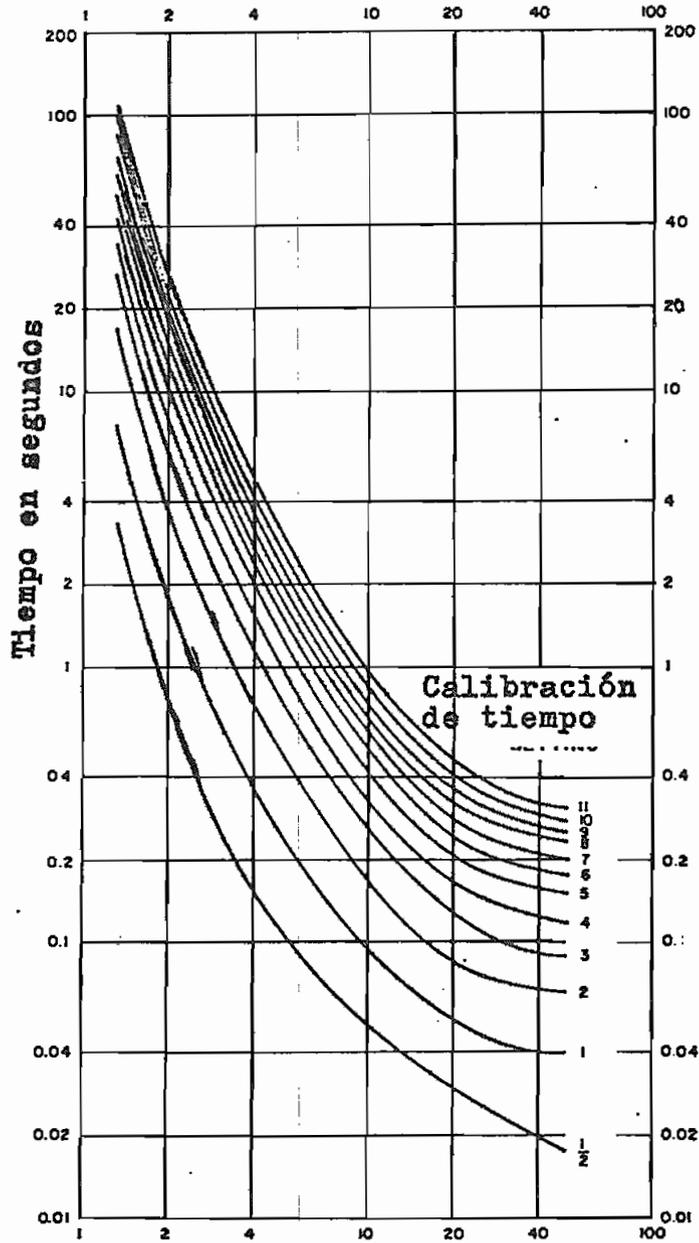
FIG. II-14



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
 PARA RELEVADORES DE TIEMPO MUY INVERSO

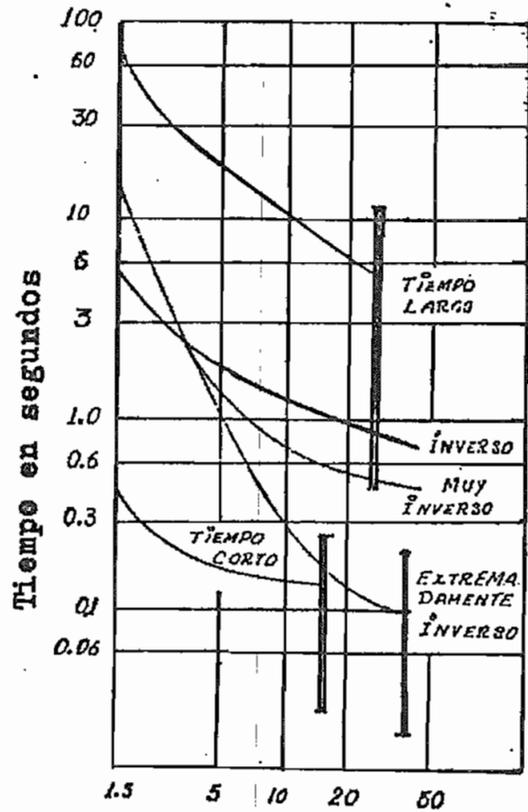
FIG. II-15



Multiplos de valor del tap de corriente

CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE
 PARA RELEVADOR DE TIEMPO EXTREMADAMENTE
 INVERSO

FIG. II-16



Multiplos de valor del tap
de corriente

COMPARACION DE CURVAS CARACTERISTICAS
TIEMPO-CORRIENTE PARA RELEVADORES DE
SOBRECORRIENTE.

Se aplica los relevadores principalmente, en la protección diferencial de Motores; Generadores; Barras y transformadores en fallas internas.

II-4).- TRANSFORMADORES DE MEDIDA. (Ref, 2, 4,5)

Son aparatos usados para reducir a valores pequeños (Normalizados) por medio de la transformación, las magnitudes altas de corriente o tensión que pueden existir en un sistema de potencia industrial. Los valores pequeños son utilizados para activar a instrumentos de medida y/o relevadores.

Los transformadores de medida se clasifican en;

a).- Transformadores de corriente.

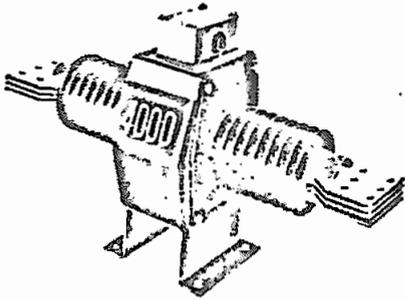
b).- Transformadores de voltaje

II-4.1).- CARACTERISTICAS.

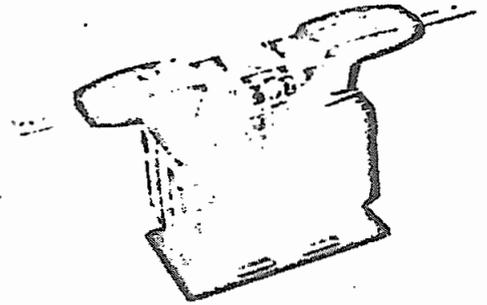
II-4.1,1).- Transformadores de corriente.

Como su nombre lo indica transforma la corriente de línea a valores que pueden ser utilizados por los relevadores, además aísla al relevador del voltaje de línea; los devanados primario y secundario están completamente aislados entre si; el secundario viene enrollado en un núcleo de hierro.

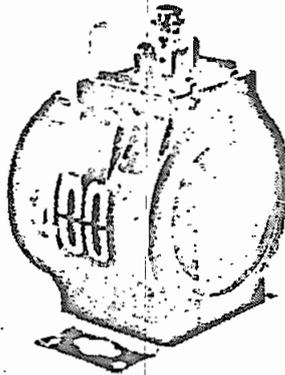
Fig, II- 17



Tipo Bar



Tipo primario devanado



Tipo ventana

TIPOS DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Las características principales de un transformador de corriente (T. C.) estan dadas por;

a).- Relación de transformación.

Este valor viene en función de transformadores standar, en cuyo secundario se tiene fijo un valor de 5 amperios.

b).- Precisión.

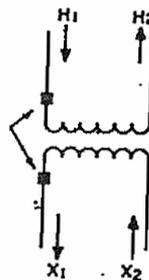
El correcto trabajo de un relevador depende de la exactitud de transformación del T. C. no solo en corrientes de carga, si-no también en corrientes de falla; el área del núcleo y el número de vueltas en el secundario dan la exactitud en altas corrientes.

La ANSI designa a los T. C. por las letras C y T y el número de clasificación. La C significa que el grado de error puede ser calculado. La T. que el grado de error ha sido determinado por pruebas. El número de clasificación indica el voltaje que el transformador de corriente entrega a la carga en terminales del secundario, a valores de 1 a 20 veces la corriente nominal sin exceder el 10% de error.

c).- Polaridad.

Indica la dirección de la corriente instantánea, tanto en el primario como en el secundario. Ver Fig, II-18

Fig, II-18

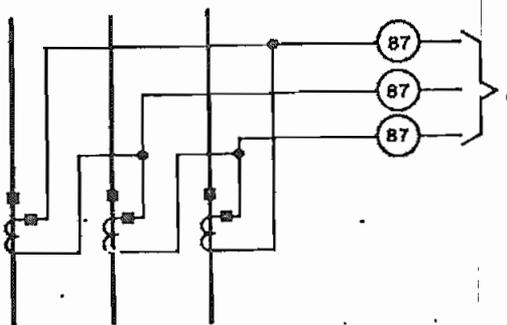


Polaridad del T.C.

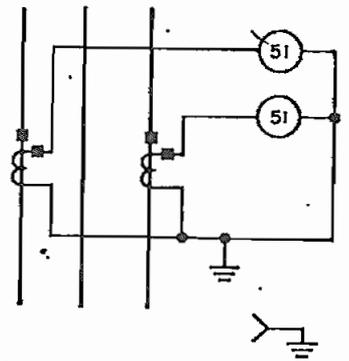
d).- Conexiones.

Tres son las conexiones más utilizadas en circuitos trifásicos y estos son; Delta; Estrella; Delta abierto. Ver Fig, II-19

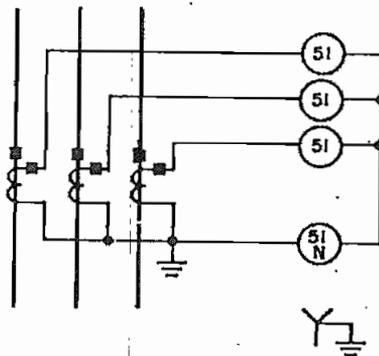
Fig, II-19



Conexión delta



Conexión delta-abierta



Conexión estrella

e).- Saturación.

La corriente alta en el primario o carga alta en el secundario o una combinación de estos factores, da lugar a una alta densidad de flujo que si, es superior a los límites del diseño, el núcleo se satura, lo cual influye sobre la precisión del T. C. que a la vez causa grave daño a la coordinación del relevador, y/o aparato de medida.

II-4.1,2).- Transformadores de voltaje. T.P. Ver Fig, II- 20

Son transformadores convencionales, en el cual primario y secundario están enrollados en un núcleo común, y son diseñados y contruidos como unidades de simple fase, de tal forma que el voltaje secundario, (120 V Fijo) mantenga una fija relación con el voltaje primario. La relación es determinada por el voltaje en el sistema y la forma como va a ser conectada.

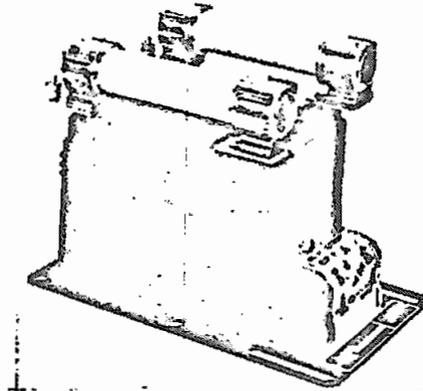
Los T.P. son normalmente aplicados a sistemas que pueden tener una variación de voltaje de $\pm 10\%$ del voltaje de placa, este valor puede ser entre líneas o entre línea y neutro.

Los rangos de exactitud van desde 0,3 a 1,2. La carga térmica afecta la vida del transformador y sus propiedades. Su polaridad son las mismas que un transformador convencional.

Los T.P. son conectados en delta abierto donde se tiene conexión línea-neutro; conexión estrella-estrella cuando se quiere

medir; con relevadores especiales se utiliza conexiones de tipo estrella-delta o delta-estrella.

Fig, II-20



TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

CAPITULO III

ESTUDIO DE LA PROTECCION

La construcción de un sistema de potencia industrial a prueba de toda falla es poco práctico y económicamente no es aceptable; por lo que, los sistemas de potencia tienen que soportar durante su vida útil una serie de fallas, debido a errores humanos, hechos fortuitos y deterioro de equipo y materiales.

III-1).- PLANIFICACION DE LA PROTECCION. (Ref, 1, 2, 3,)

Para realizar el diseño adecuado de la protección de un sistema de potencia industrial se debe realizar estudios de;

- a).- Corto-circuitos
- b).- Flujos de carga
- c).- Estabilidad
- d).- Arranque de motores
- e).- Coordinación de protecciones

Estos estudios, se los realiza en base a un diagrama unifilar que debe tener la mayor cantidad de información de acuerdo al

tipo de estudio; pero generalmente debe tener los siguientes datos;

a).- Fuentes de corriente de corto-circuito; que son comunmente los siguientes.

- M.V.A. cc a la entrada del sistema industrial
- Generadores
- Transformadores
- Motores de inducción
- Motores sincrónicos
- Condensadores sincrónicos

b).- Longitud, tipo y capacidad de los conductores

c).- Capacidad, voltajes, impedancias y conexiones de los transformadores.

d).- Identificación de las cargas

Los estudios anotados no se los realiza en su totalidad debido a factores de orden técnico y sobre todo económico; pero es práctica recomendable realizar los estudios de corto-circuitos para la calibración de los elementos de protección y adecuada selección del rango de interrupción, y para que el sistema de protección tenga un rendimiento que cumpla con los objetivos para él previstos, se realiza el estudio de la coordinación.

calcular las corrientes de corto-circuito en sistemas industriales.

III-2.1,2).- Descripción del método.

La ley ómica $I = E/Z$ es la relación básica usada para determinar la corriente de falla; E, es el voltaje de la fuente y Z es la impedancia desde la fuente a la falla, incluyendo a la de la

III-2).- ESTUDIO DE CORTO-CIRCUITO. (Ref, 5,)

Se entiende por corto-circuito a una falla que se presenta en una instalación y que demanda una corriente excesiva al punto de ocurrencia

La falla puede ser de las siguientes clases;

a).- Falla de fase-tierra

$$I_{cc} = \left| \frac{3 V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right| \quad A$$

b).- Falla de fase-fase

$$I_{cc} = \left| \frac{\sqrt{3} V}{Z_1 + Z_2} \right| \quad A$$

c).- Falla entre dos fases-tierra

$$I_{cc} = \left| \frac{V_a [Z_0 (a-a) + Z_2 (a-1)]}{Z_0 \cdot Z_1 + Z_0 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_2} \right| \quad A$$

d).- Falla trifásica

$$I_{cc} = \left| \frac{V}{Z_1} \right| \quad A$$

I_{cc} = Corriente de falla en R.M.S. simétricos

V = Tensión entre fase y neutro

Z_1 = Impedancia de secuencia positiva

Z_2 = Impedancia de secuencia negativa

Z_0 = Impedancia de secuencia cero

a = Operador cuyo valor es $1 \angle 120^\circ$

III-2.1).- METODO DE CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO.

III-2.1,1).- Método del M.V.A. (Ref, 17)

Este método que lo describiremos es una modificación del método hómico; y es recomendable por su facilidad de aplicación para calcular las corrientes de corto-circuito en sistemas industriales.

III-2.1,2).- Descripción del método.

La ley ómica $I = E/Z$ es la relación básica usada para determinar la corriente de falla; E, es el voltaje de la fuente y Z es la impedancia desde la fuente a la falla, incluyendo a la de la fuente.

Las impedancias de los equipos de un sistema de potencia industrial, vienen dadas en por unidad (P.U.) o en porcentaje (valor de P.U. por 100). Estos valores son referidos a un valor base que es elegido de acuerdo a las magnitudes de voltaje y potencia

cia del sistema. (Ref, 5)

Las formulas que se obtienen de relacionar estas magnitudes escogidas como base, sirven para sistemas trifásicos y monofásicos, y son las siguientes;

$$\text{Corriente base} = I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot E_b} \quad \checkmark \quad (1)$$

$$\text{Impedancia base} = Z_b = \frac{E_b}{\sqrt{3} \cdot I_b} = \frac{E_b^2}{S_b} \quad \checkmark \quad (2)$$

$$\text{Impedancia en P.U.} = Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} \quad \checkmark \quad (3)$$

La potencia aparente de corto-circuito es;

$$\begin{aligned} S_{cc} &= \sqrt{3} \cdot E \cdot I_{cc} \quad \checkmark & E &= \sqrt{3} V \\ S_{cc} &= \sqrt{3} \cdot (\sqrt{3} \cdot V \cdot) \cdot \frac{V}{Z} \quad \checkmark \\ S_{cc} &= \frac{E^2}{Z} \quad \checkmark & & (4) \end{aligned}$$

Despejando de la ecuación (3)

$$Z = Z_b \cdot Z_{pu} \quad \checkmark$$

y reemplazando Z_b despejada de la ecuación (2) queda;

$$Z = \frac{E_b^2}{S_b} \cdot Z_{pu} \quad \checkmark \quad (5)$$

Esta ecuación (5) remplazandola en la ecuación (4) queda;

$$S_{cc} = \frac{E^2}{Z} = \frac{E^2}{Z_b \cdot Z_{pu}} = \frac{E^2}{\frac{E_b^2}{S_b} \cdot Z_{pu}} = \frac{S_b \cdot E^2}{Z_{pu} \cdot E_b^2} \quad (6)$$

Si tomamos en cuenta que las bases tomadas, para referir los datos de placa (impedancias) de los equipos en P.U. son los valores de voltaje y potencia de la placa, se tiene que;

$$E = E_b \quad \text{y} \quad S = S_b$$

con esta consideración la ecuación (6) queda

$$S_{cc} = \frac{S}{Z_{pu}} \quad (7)$$

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot E} \quad (8)$$

Cuando se tiene varias impedancias en paralelo, su equivalente en M.V.A.cc se obtiene por;

$$\frac{1}{Z_t} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n} \quad (9)$$

Aplicando la ecuación (4) y remplazandola en la ecuación (9) queda;

$$\frac{1}{\frac{E^2}{S_{ct}}} = \frac{1}{\frac{E^2}{S_{c1}}} + \frac{1}{\frac{E^2}{S_{c2}}} + \frac{1}{\frac{E^2}{S_{c3}}} + \dots + \frac{1}{\frac{E^2}{S_{cn}}}$$

Simplificando;

$$S_{ct} = S_{c1} + S_{c2} + S_{c3} + \dots + S_{cn} \quad (10)$$

Para el caso de impedancias en serie, su equivalente en M.V.A. de Corto-circuito se obtiene por;

$$Z_t = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n \quad (11)$$

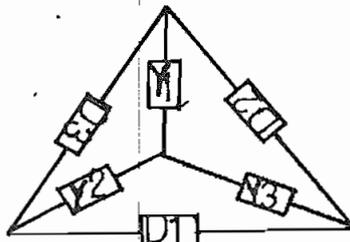
Aplicando la ecuación (4) y reemplazando en la ecuación (11) queda;

$$\frac{E^2}{S_{ct}} = \frac{E^2}{S_{c1}} + \frac{E^2}{S_{c2}} + \frac{E^2}{S_{c3}} + \dots + \frac{E^2}{S_{cn}}$$

Simplificando;

$$\frac{1}{S_{ct}} = \frac{1}{S_{c1}} + \frac{1}{S_{c2}} + \frac{1}{S_{c3}} + \dots + \frac{1}{S_{cn}} \quad (12)$$

Para el caso de conexión Delta-Estrella;



$$Y_1 = P/D_1 \quad ; \quad Y_2 = P/D_2 \quad ; \quad Y_3 = P/D_3$$

$$P = (D_1.D_2 + D_2.D_3 + D_3.D_1)$$

Y = es conexión estrella

D = es conexión Delta

Nominación de las letras empleadas;

Sb = Potencia aparente base

Eb = Voltaje entre líneas base

Zb = Impedancia base

Ib = Corriente base

Scc= Potencia aparente de Corte-circuito

Z = Impedancia de la carga o del problema

Zpu= Impedancia en P.U.

Icc= Corriente de corto-circuito

Zt= Impedancia total o equivalente

Un ejemplo de aplicación de este método se da en la página (55)

III-2.1.3).- Cálculo de la corriente de corto-circuito Asimétrico.

Los cálculos efectuados en el numeral anterior, permiten conocer los valores R.M.S. simétricos de corte-circuitos en condiciones de falla estacionarias; es decir luego de que las condiciones estacionarias de la falla han desaparecido, lo cual ocurre de 3 a 4 ciclos de iniciada está.

EJEMPLO DE APLICACION

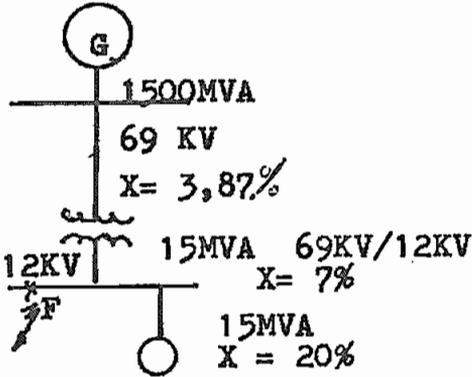


DIAGRAMA UNIFILAR

Valores en M.V.A.

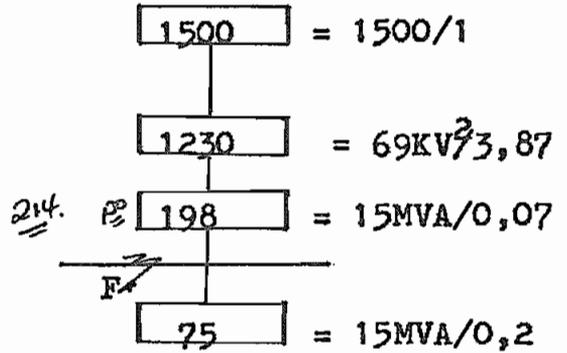
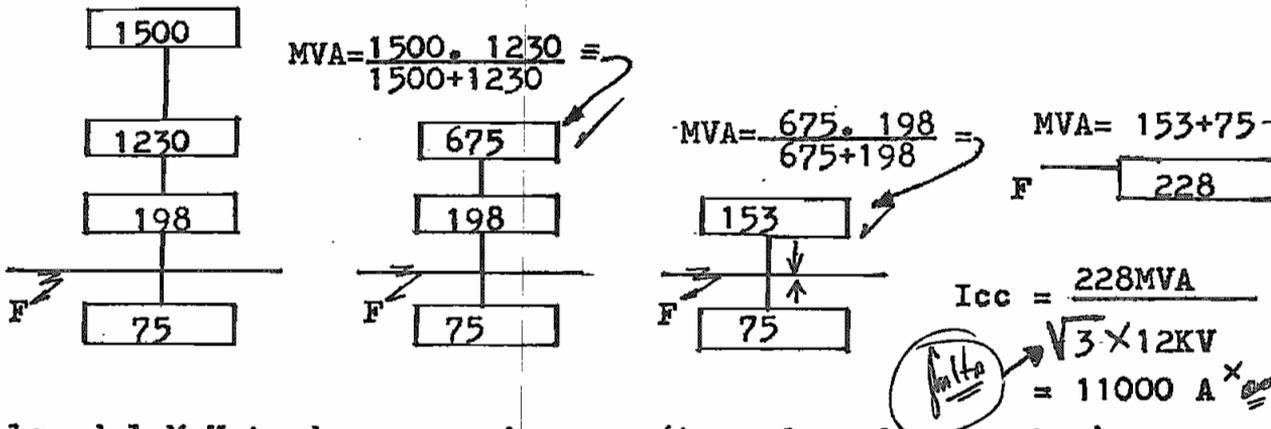
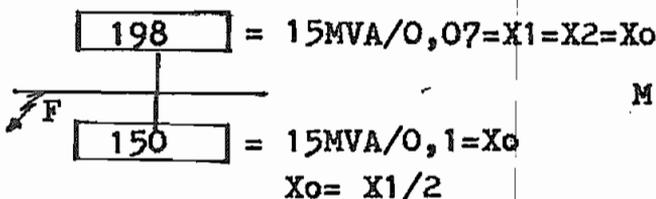


DIAGRAMA DE BLOQUES

Cálculo de corriente de corto-circuito trifásico

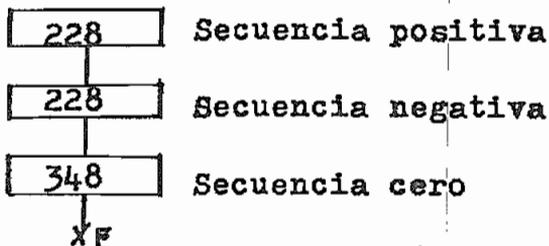


Valor del M.V.A. de secuencia cero (transformador y motor)



M.V.A. (Cero) = 198 + 150 = 348MVA

Cálculo de corriente de corto-circuito fase-tierra.



(M.V.A.): (Total) = 1/228 + 1/228 + 1/348 =
 MVA (total) = 85 MVA ✓
 $I_{cc} = \frac{3 \cdot (85) \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 12 \text{ KV}} = 12260 \text{ A} \checkmark$

La corriente asimétrica de corto-circuito cuya forma general se indica en la Fig, III-1. está conformada por dos tipos de corriente, la una, la corriente simétrica de corto-circuito en estado estacionario, y la otra, una componente de corriente continua de forma exponencial y decreciente.

Para calcular estas corrientes asimétricas se requiere conocer la relación X/R del circuito equivalente en el punto de falla; con este valor y utilizando la tabla N. 4 o la curva de la Fig, III-2 se obtiene el factor por el cual hay que multiplicar la corriente de corto-circuito simétrico, para obtener la corriente de corto-circuito asimétrico.

III-2.1,4).- Cálculo de corto-circuito trifásico.

En el cálculo de la corriente de corto-circuito trifásico, es necesario tomar en cuenta la impedancia de secuencia positiva.

El ejemplo dado en la (55) aclarará su aplicación.

III-2.1,5).- Cálculo de corto-circuito Fase-tierra.

En estos corto-circuitos se debe tomar en cuenta las reactancias de secuencia positiva, negativa y cero, por lo que es necesario tener en consideración lo siguiente;

- a).- Las reactancias de secuencia positiva, son de igual valor que las reactancias de secuencia negativa.

FIG. III-1

CORRIENTE ASIMETRICA DE CORTO-CIRCUITO

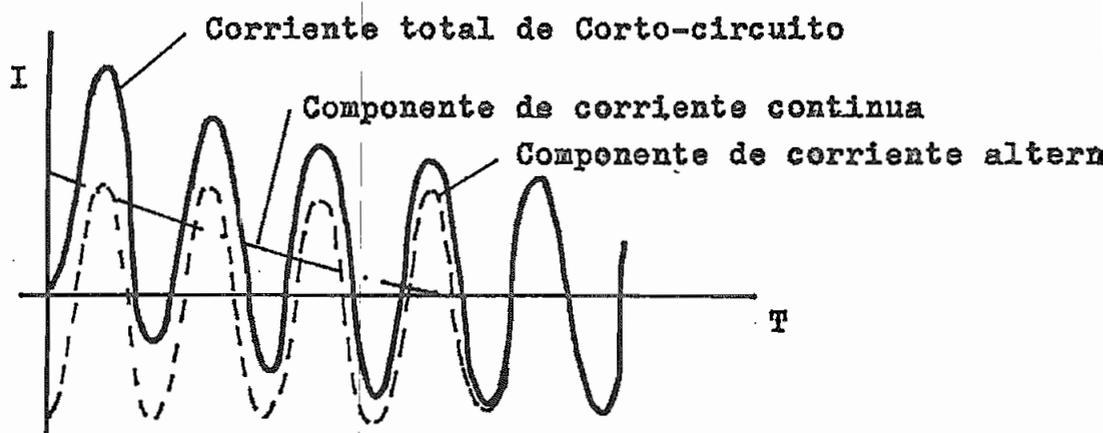


FIG. III-2

CURVA PARA CONOCER LA CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO ASIMETRICA. CONOCIENDO LA RELACION X/R Y LA CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO SIMETRICA.

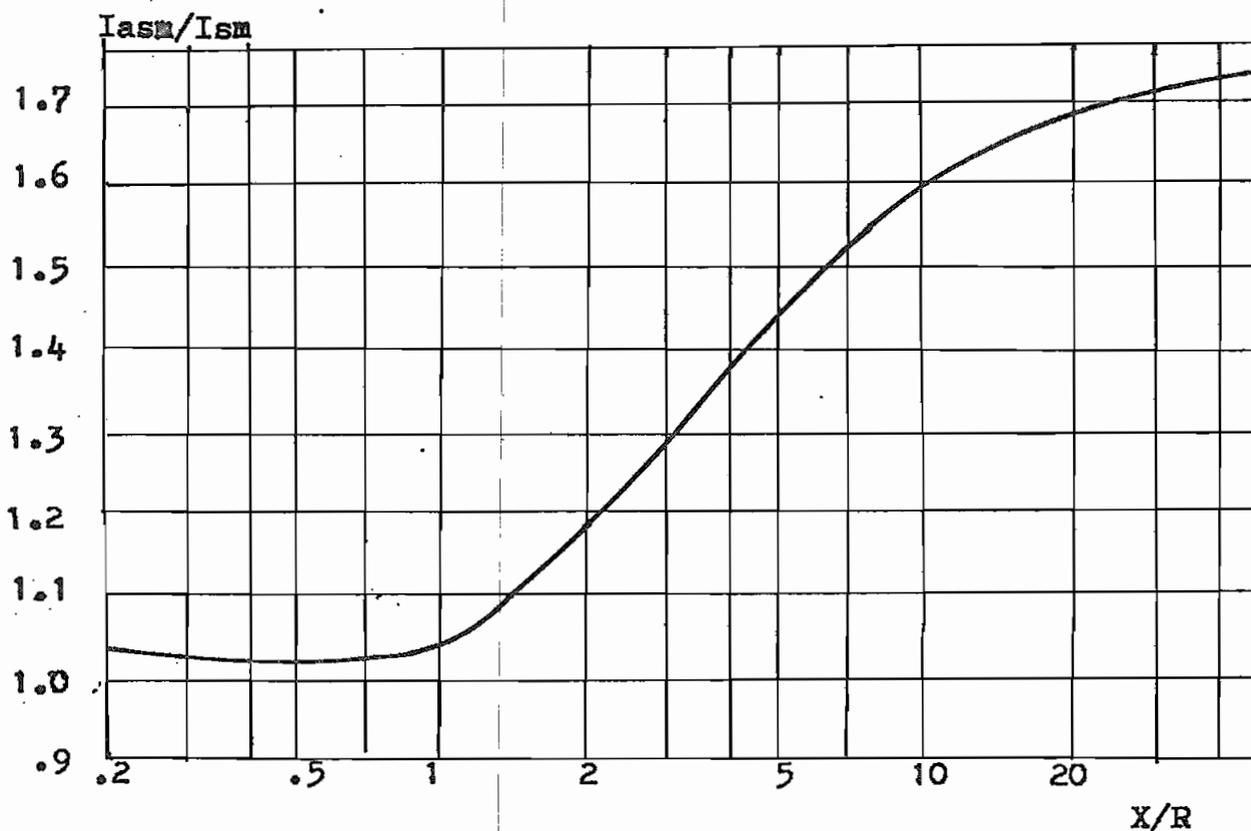


TABLA N. 4

F.P (%) C-C	X/R C-C	Máxima corriente en pico ins tantanea. Una fase	Máxima corriente después de 1/2 ciclo	Promedio de corriente en 3-Fase después de 1/2 ciclo.
0	00	2,82	1,73	1,39
1	100,00	2,78	1,69	1,37
2	49,99	2,74	1,66	1,35
3	35,32	2,7	1,63	1,33
4	24,97	2,66	1,59	1,31
5	19,97	2,62	1,56	1,3
6	16,62	2,58	1,54	1,28
7	14,25	2,55	1,51	1,27
8	13,46	2,52	1,48	1,25
9	11,06	2,48	1,46	1,24
10	9,93	2,45	1,43	1,22
11	9,03	2,42	1,41	1,21
12	8,27	2,39	1,39	1,20
13	7,62	2,36	1,37	1,19
14	7,07	2,33	1,35	1,18
15	6,59	2,30	1,33	1,17
16	6,16	2,28	1,31	1,16
17	5,79	2,25	1,29	1,15
18	5,46	2,23	1,27	1,14
19	5,16	2,20	1,26	1,13
20	4,89	2,18	1,24	1,12
21	4,65	2,16	1,23	1,11
22	4,43	2,13	1,21	1,11
23	4,23	2,11	1,20	1,10
24	4,04	2,09	1,19	1,09
25	3,87	2,07	1,18	1,09
26	3,71	2,05	1,17	1,08
27	3,56	2,03	1,15	1,08
28	3,42	2,01	1,14	1,07
29	3,30	1,99	1,13	1,07
30	3,17	1,97	1,13	1,06
31	3,06	1,96	1,12	1,06
32	2,96	1,94	1,11	1,05
33	2,86	1,92	1,10	1,05
34	2,76	1,91	1,09	1,04
35	2,67	1,89	1,09	1,04
36	2,59	1,87	1,08	1,04
37	2,51	1,86	1,07	1,03
38	2,43	1,84	1,07	1,03
39	2,36	1,83	1,06	1,03
40	2,29	1,81	1,06	1,03
41	2,22	1,80	1,05	1,02
42	2,16	1,79	1,05	1,02
43	2,09	1,77	1,04	1,02
44	2,04	1,76	1,04	1,02
45	1,98	1,75	1,04	1,02
46	1,93	1,74	1,03	1,01
47	1,87	1,72	1,03	1,01
48	1,82	1,71	1,03	1,01
49	1,77	1,70	1,02	1,01
50	1,73	1,69	1,02	1,01
55	1,51	1,64	1,01	1,00
60	1,33	1,59	1,00	1,00
65	1,16	1,55	1,00	1,00
70	1,02	1,51	1,00	1,00
75	0,88	1,46	1,00	1,00
80	0,75	1,46	1,00	1,00
85	0,61	1,43	1,00	1,00
100	0,00	1,41	1,00	1,00

b).- Las reactancias de secuencia positiva, negativa y cero son de igual valor, en los transformadores.

c).- La reactancia de secuencia cero en los motores es de un valor aproximado de $1/2$ del valor de la reactancia de secuencia positiva. (Ref, 17)

d).- Las corrientes de corto-circuito de las secuencias positiva, negativa y cero son de igual valor o magnitud.

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a3}$$

e).- La corriente total de corto-circuito es igual a.

$$I_{cc} = 3 \cdot I_{a1}$$

El ejemplo dado en la pagina (55) aclarara su aplicación.

III-3).- CRITERIOS GENERALES DE PROTECCION.

El tipo de protección de un sistema de potencia industrial viene dado por la clase de instalación eléctrica; que son dos básicamente.

a).- Instalaciones eléctricas para alumbrado y tomacorrientes de uso general.

Son circuitos que utilizan normalmente conductores número 12 y

14 AWG . Como elementos de protección utilizan interruptores de caja moldeada y fusibles.

b).- Instalaciones eléctricas para fuerza.

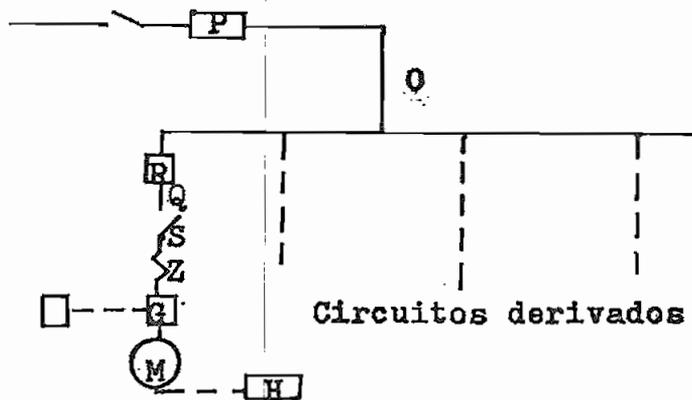
Son circuitos para la utilización de motores, transformadores generadores ect y todo aquello que no es iluminación.

Las instalaciones eléctricas para fuerza más utilizadas en sistemas de plantas industriales son las instalaciones eléctricas de motores; por lo que, se analizará en forma detenida sus elementos de instalación y sus protecciones respectivas.

✕III-3.1).- INSTALACIONES ELECTRICAS Y PROTECCIÓN PARA MOTORES. (

Ref, 5)

En la instalación eléctrica de motores intervienen principalmente los elementos que se indican en el diagrama siguiente:



Para indicar los elementos de la instalación de un motor y su protección es conveniente tener los siguientes conceptos.

a).- Corriente nominal de un motor

Es aquella corriente que demanda el motor cuando esta trabajando a condiciones nominales.

b).- Corriente de arranque de un motor.

Es aquella corriente que demanda el motor, cuando se pone en operación; su valor es de 4 a 5 veces la corriente nominal, esto depende de la potencia del motor. Su valor más alto se da a motor bloqueado. (Ver tabla N. 5)

En referencia al gráfico anterior, se describirá a cada elemento y su respectiva protección.

Alimentador (O).- Es el conductor que alimenta a un motor o a un grupo de motores, su calibre se obtiene en base a la siguiente relación.

$$I = 1,25 I_{pc} \text{ (motor mayor)} + \sum I_{pc} \text{ (resto de motores)}$$

I_{pc} = Corriente a plena carga

Protección del alimentador.- La protección del alimentador (P) protege al conductor contra sobrecargas. Se utilizan fusibles o interruptores termomagnéticos. La selección de cualquier elemen

TABLA N. 5

CORRIENTE CON ROTOR BLOQUEADO

HP	Corriente con rotor bloqueado	Letras de diseño
1/2	20	B, D
3/4	25	B, D
1	30	B, D
1 1/2	40	B, D
2	50	B, D
3	64	B, C, D
5	92	B, C, D
7 1/2	127	B, C, D
10	162	B, C, D
15	232	B, C, D
20	290	B, C, D
25	365	B, C, D
30	435	B, C, D
40	580	B, C, D
50	725	B, C, D
60	870	B, C, D
75	1.085	B, C, D
100	1.450	B, C, D
125	1.815	B, C, D
150	2.170	B, C, D
200	2.900	B, C
250	3.650	B
300	4.400	B
350	5.100	B
400	5.800	B
450	6.500	B
500	7.250	B

La protección del motor (Z) tiene por objeto proteger al motor contra sobrecargas, para evitar que se sobrecaliente. Una sobrecarga de 25 % es aceptable, por lo que el elemento de protección se selecciona para un valor de corriente que se calcula de acuerdo a la siguiente relación.

$$I = 1,25 I_{pc}$$

Los equipos G y H sirven para controlar el arranque, la velocidad, y para parar la operación del motor.

III-3.2).- PROTECCION DE TRANSFORMADORES. (Ref, 7)

Cuando se selecciona la protección de un transformador; cuatro factores deben ser tomados en cuenta.

a).- Corriente del transformador a plena carga.

Esta corriente se produce cuando se utiliza el transformador a condiciones nominales.

b).- De acuerdo al NEC (Sección 450-3).

Se da un punto que sirve para limitar el máximo tamaño del fusible o aparato de protección que pueda ser utilizado para proteger al transformador.

c).- De acuerdo a ANSI (C 57.12 Series).

Da un punto que dice; para transformadores con 4% de impedancia o menos, una utilización del mismo a 25 veces la corriente nominal durante 2 segundos es permitida. Para transformadores con 7% de impedancia o más, una utilización a 4,3 veces la corriente nominal durante 5 segundos es permitida. La manera de calcular la corriente ANSI es;

$$I(\text{ANSI}) = \frac{\text{Corriente a plena carga del transformador}}{Z_{p.u}} \cdot 100$$

$$\text{Tiempo ANSI} = Z\%^{-2}$$

d).- Corriente de magnetización.

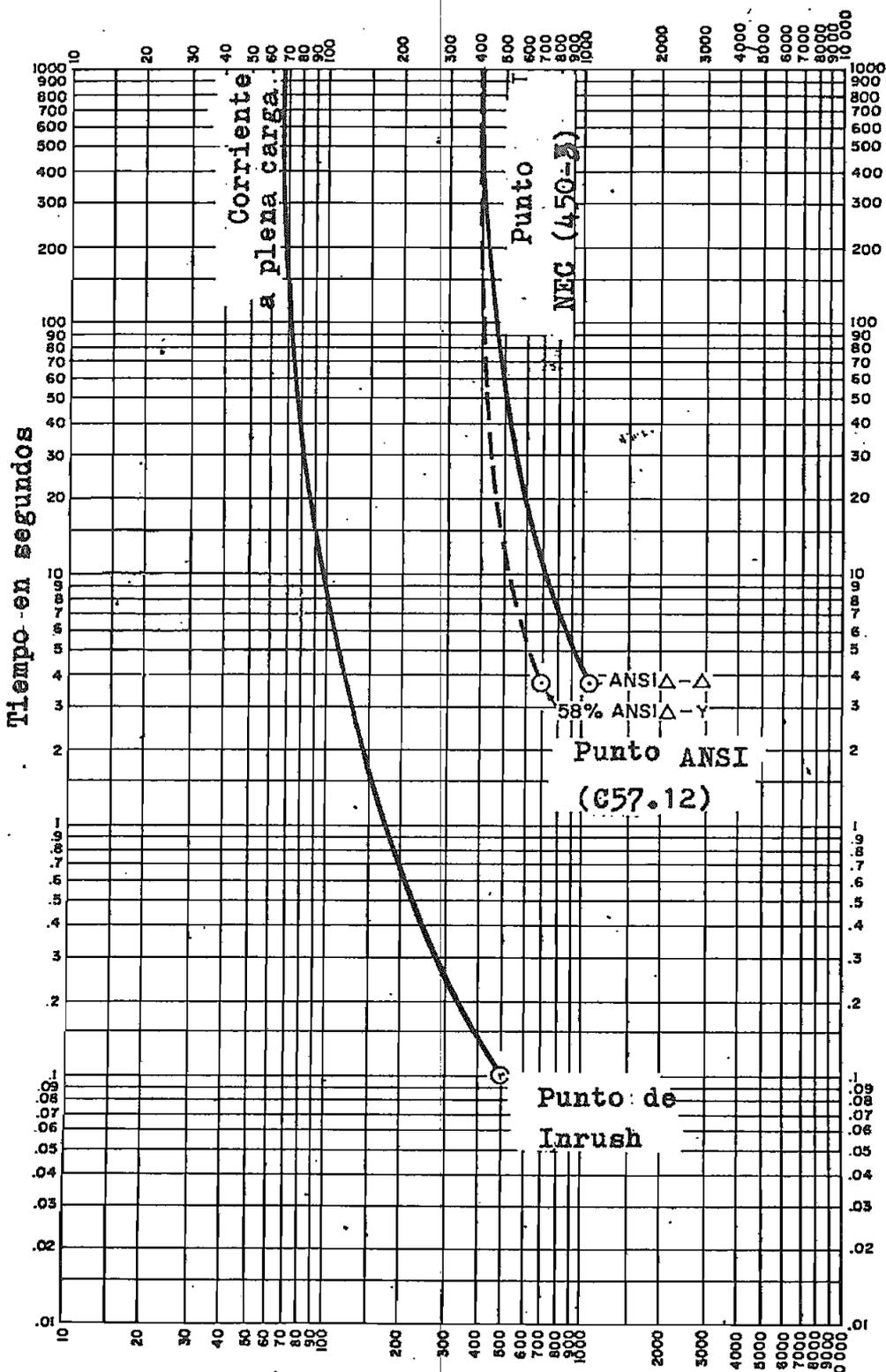
Este valor es de 8 a 12 veces la corriente nominal, dependiendo del tipo de material del núcleo, aislamiento, devanados, etc. El tiempo de duración es de 0,1 segundos.

Los elementos de protección usados comúnmente son fusibles, interruptores y relevadores. Su escogitamiento depende de la capacidad del transformador, tipo de falla y grado de protección. El elemento de protección escogido debe estar dentro de la zona formada por los cuatro factores anteriormente anotados. Ver Fig. III-3

III-3.3).- PROTECCION DE GENERADORES. (Ref, 2)

Son fuentes de energía local y pueden suministrar todo o parte de la energía requerida por la planta.

FIG. III-3

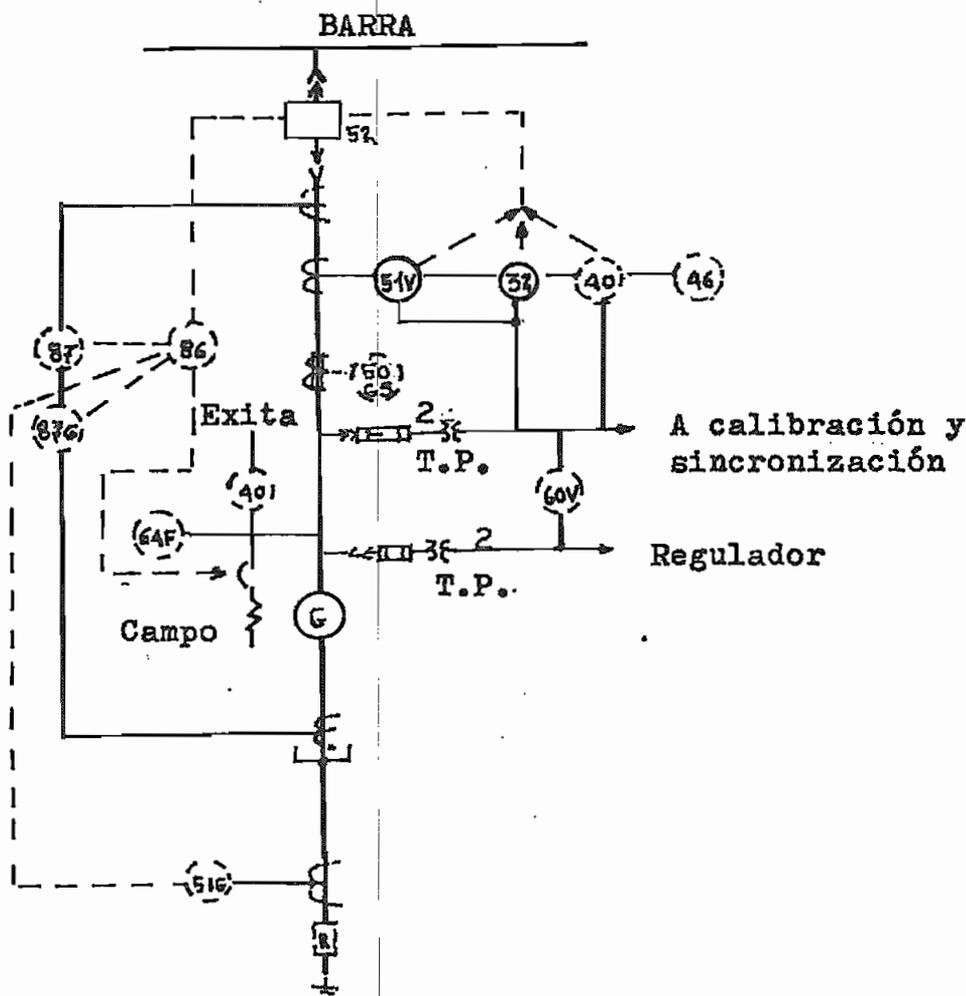


ZONA DE PROTECCION DE UN TRANSFORMADOR

La protección para un generador requiere de consideraciones de condiciones anormales que no tienen otros elementos del sistema. Cuando el generador está solitariamente funcionando se le provee de protección automática contra todo daño; pero cuando existe un operador esta protección no es recomendable, pero si es discutible.

En la Fig, III-4 se indica las protecciones más comunes de un generador.

FIG. III-4



NOMINACION

51V	Relevador de sobre-corriente (3)
51 G	Relevador de sobrecorriente de tiempo; usado si el neutro del generador es conectado a tierra (1)
50GS	Relevador de sobrecorriente instantáneo; usado si el neutro del generador no es conectado a tierra. (1)
32	Relevador direccional de fuerza; puede ser omitido si la máquina lo posee. (1)
40	Relevador de pérdida de corriente de campo(1)
46	Relevador de corriente de fase de secuencia negativa. (1)
64 F	Detector a tierra del campo del circuito (1)
60 V	Relevador de falla del T.P. (1)
86	Relvador de cierre; tiene reposición manual (1)
87	Relevador diferencial de porcentaje (3)

87 G

Relevador direccional de corriente polarizada (1)

Los aparatos que están con línea cortada son opcionales para maquinas de bajo voltaje.

III-3.4).- PROTECCION DE CONDUCTORES.

Los conductores son los encargados de conducir la energía para el funcionamiento de los equipos eléctricos; por lo que, el incremento de potencia y voltaje hace aumentar los esfuerzos potenciales que debe soportar. Cuando sucede una falla, sea por sobrecarga o corto-circuito se eleva la temperatura del conductor disminuyendo su vida y aumentando la probabilidad de falla.

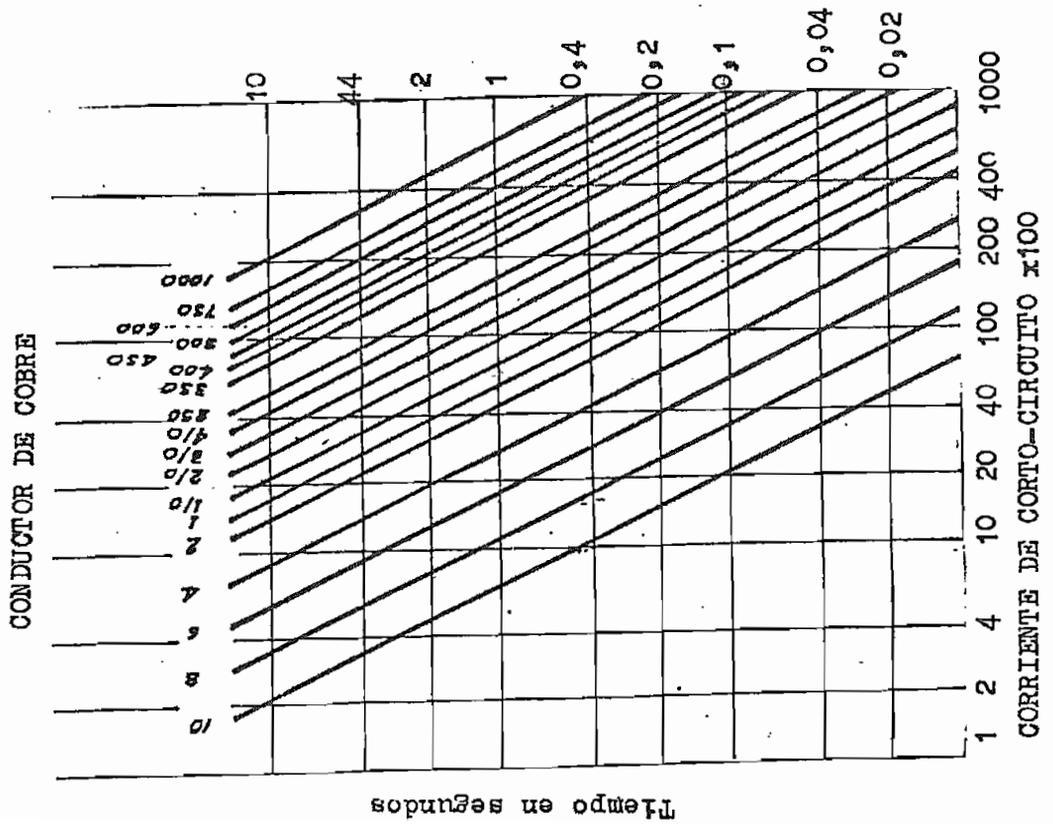
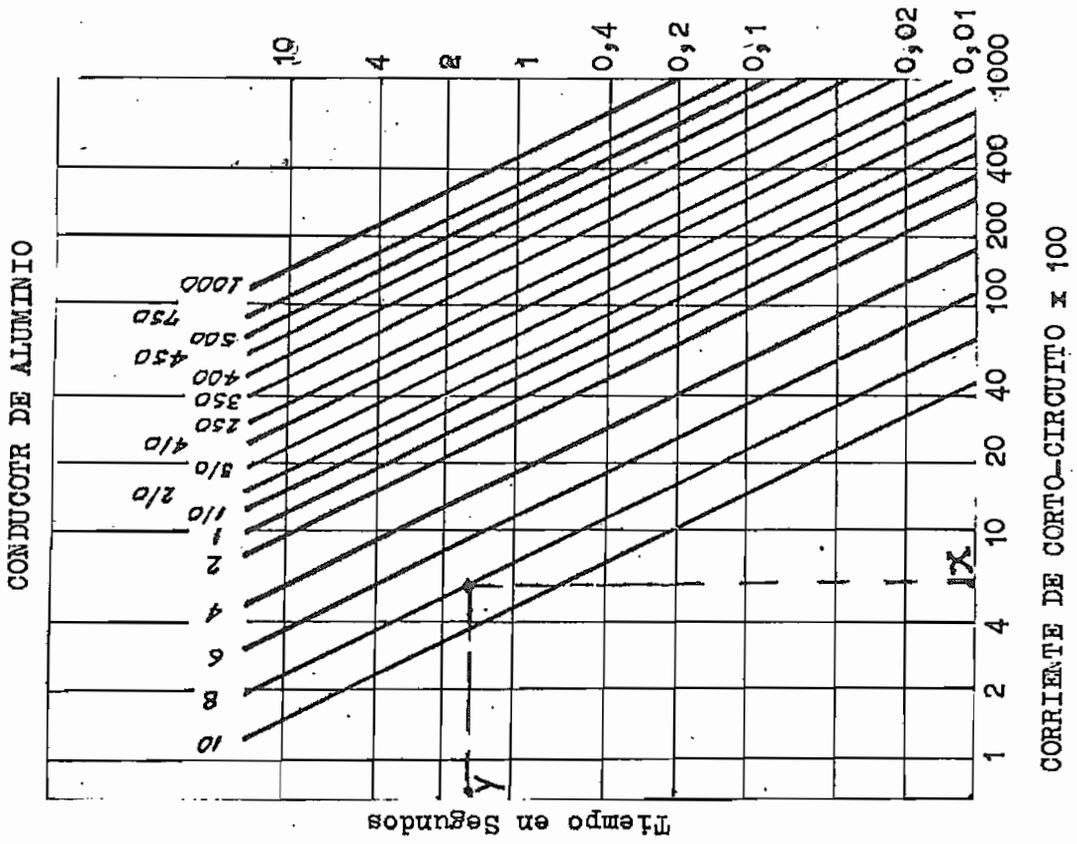
Por estas razones y otras de origen mecánico, es necesario proteger al conductor y coordinarlo con su elemento de protección con el resto del sistema de protección.

En la Fig, III-5 se indica las corrientes térmicamente admisibles de conductores de cobre en función del tiempo.

El proceso para seleccionar al conductor adecuado es el siguiente;

Sea un fusible con una corriente asimétrica de interrupción X y que de acuerdo a su curva tiempo-corriente el tiempo máximo de despeje es Y . Con estos dos datos conocemos el conductor adecuado. Ver Fig, III-5 .

FIG. III-5



$T_0 = 75^\circ C$ $T_f = 200^\circ C$

CAPITULO IV

COORDINACION DE PROTECCIONES

El grado de optimización de un sistema de protección de una planta industrial, viene dada por la coordinación de las mismas, que tiene como finalidad lograr que solamente el aparato de protección más cercano a la falla se abra, mientras que el resto de elementos de protección permanecen cerrados.

Se realiza la coordinación de protecciones cuando; (Ref, 2)

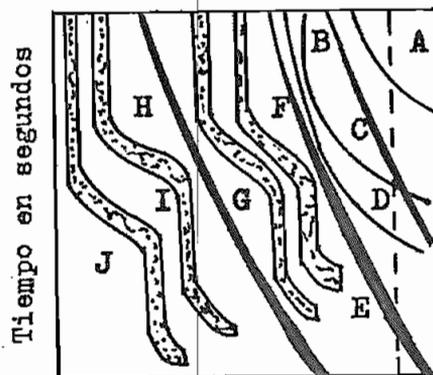
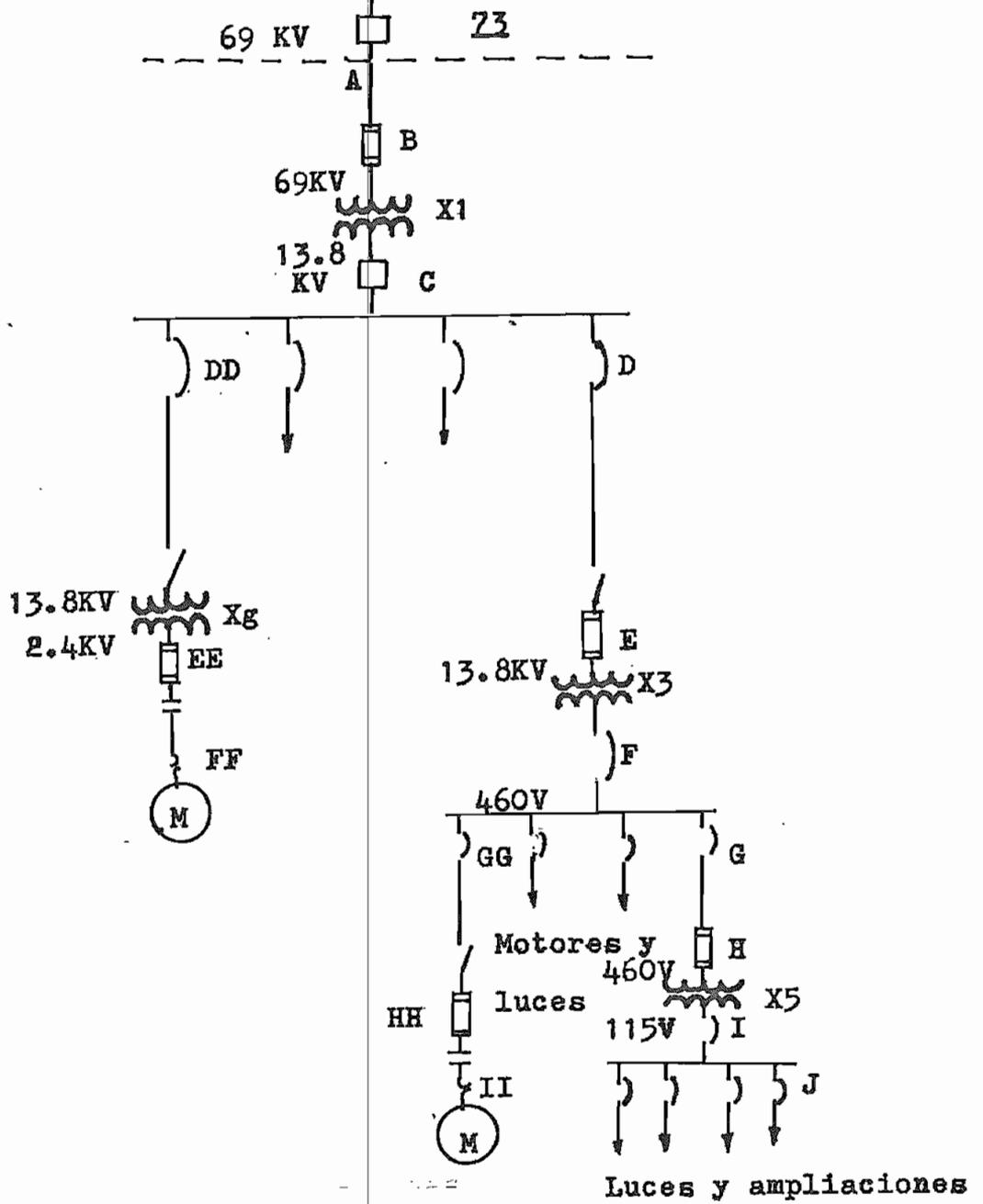
- a).- Se diseña un nuevo sistema de una planta industrial
- b).- Nuevas cargas son añadidas al sistema o cuando el equipo existente es cambiado por otro nuevo.
- c).- Se aumenta la corriente de corto-circuito de la empresa que suministra la energía a la planta industrial.
- d).- Se desea anular la falla en el menor tiempo posible y con la menor salida de equipo; este estudio puede indicar la necesidad de cambio o remplazo de aparatos.

IV-1).- PLANIFICACION DE LA COORDINACION(Ref, 5, 16)

Los pasos necesarios para una adecuada coordinación son los si-

güentes; Ver Fig, IV-1

- a).- Preparar un diagrama unifilar indicando la capacidad de interrupción de cada aparato de interrupción, además de la relación de transformación de los T. C. y de los T. P. También se debe indicar la corriente de corto-circuito disponible, en el terminal de cada aparato de protección.
- b).- Realizar un estudio de corto-circuito, para determinar las corrientes de falla máxima en cualquier punto del sistema.
- c).- Calcular las corrientes de carga máxima normal y de puesta en marcha bajo condiciones de operación en cada uno de los ramales del sistema.
- d).- Preparar una gráfica tiempo-corriente sobre el papel Lg-Lg en todas las corrientes que estarán referidas a una base común, pudiéndose utilizar un factor de multiplicación si se considera necesario.
- e).- Imprimir sobre una escala (la misma de gráfica tiempo-corriente) las curvas características de cada elemento de protección y llegar a familiarizarse con ellas tanto como sea posible.
- f).- Trazar la curva tiempo-corriente para arranque y corriente normal de motores grandes ó en su caso grupos de motores, teniendo en consideración la secuencia de arranque o bien



un grupo de motores pequeños que funcionan previamente al arranque de uno o más motores grandes.

- g).- Seleccionar los dispositivos de protección con una gama apropiada de ajuste para corresponder a las necesidades actuales y futuras del sistema.
- h).- Trazar el diagrama unifilar del ramal que corresponde, a un lado de las curvas de cada gráfica para ilustrar la correspondencia de dispositivos en forma inmediata y cortar cada curva ó banda hasta la capacidad disponible de falla en el ramal.
- i).- Comenzar la coordinación desde el aparato de protección más alejado, para el gráfico IV-1 es el interruptor de caja moldeada (J) . Se lo calibra en el valor mínimo de tal manera que no cause un disparo innecesario.
- j).- Es recomendable que las curvas características de los elementos de protección no se superpongan. Esto no siempre es factible y algunas veces debe ser tolerada una o más superposiciones, Ver gráfico IV-2 . También se asume que cada aparato de protección debe servir de respaldo en el caso de que el aparato más próximo a la falla no la anule.

IV-2).- COORDINACION FUSIBLE-FUSIBLE.

Para coordinar fusibles se debe considerar sus curvas caracte -

rísticas, que son las Mínimo tiempo de fusión y las de máximo tiempo de despeje. Entre estas curvas es conveniente que exista la siguiente relación.

$$\frac{\text{Máximo tiempo de despeje de la protección primaria}}{\text{Mínimo tiempo de fusión de la protección de respaldo}} \leq 0,75$$

El valor de máximo tiempo de despeje y el de mínimo tiempo de fusión, se obtiene colocando en la curva del fusible en estudio los valores de corriente máxima de corto-circuito producida en el punto de aplicación del fusible.

En caso de que no se cumpla la relación anterior, se cambia el elemento de protección por otro de mayor o menor valor de capacidad nominal, siempre recordando que el fusible debe conducir la corriente de carga normal del ramal donde está colocado, sin afectarse en sus propiedades.

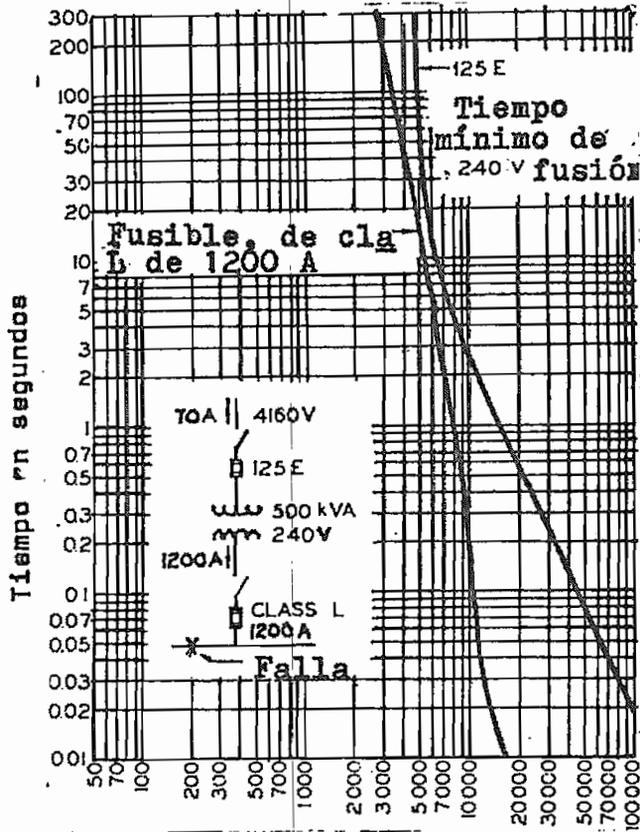
El gráfico-ejemplo IV-3 aclarará su aplicación.

IV-3).- COORDINACION RELEVADOR-FUSIBLE. (Ref, 2)

Para realizar una adecuada coordinación entre estos elementos de protección es conveniente tomar en cuenta lo siguiente;

- a).- La característica tiempo-corriente del fusible es mucho más inversa que la del relevador, en un valor de corriente cercana a su capacidad de interrupción.

FIG. IV-3



CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO

COORDINACION FUSIBLE-FUSIBLE

FIG. IV-4

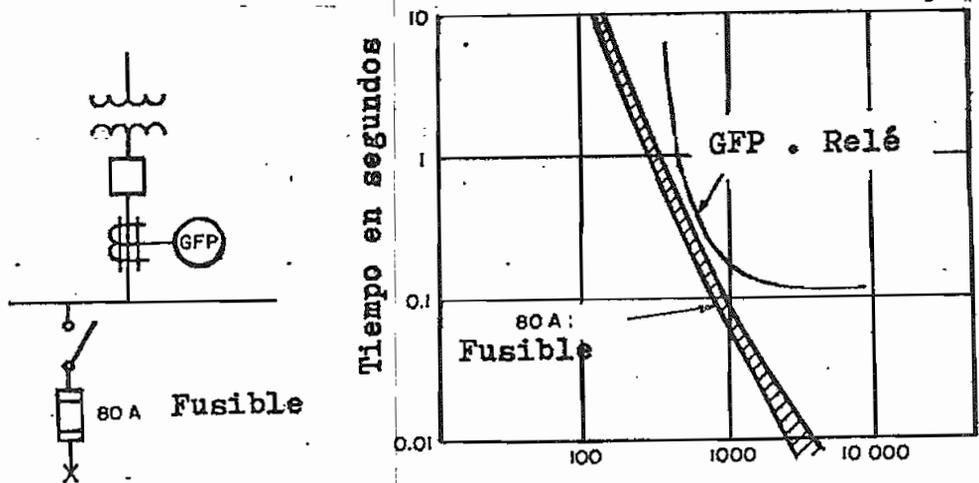


Diagrama unifilar

CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO

COORDINACION FUSIBLE-RELEVADOR

b).- Debido a las características de funcionamiento del relevador, el tiempo de apertura de la falla está dada por;

- Tiempo de apertura del interruptor	0,08 S
- Tiempo de funcionamiento del relevador	0,10 S
- factor de seguridad	(0,12-0,22) S

El factor de seguridad es dado para corregir posibles errores de cálculo de las corrientes de falla; del tiempo de operación; y errores en la relación de transformación de los transformadores de medida.

El valor más utilizado de este intervalo de tiempo es de 0,3 S, pero en relevadores de disco de inducción este valor puede ser reducido a 0,25-0,15 S. Estas reducciones de las realiza, si, el examen del relevador y del interruptor indican que el sistema de coordinación no varía con este decremento.

El Gráfico-ejemplo aclarara su aplicación. IV-4

IV-4).- COORDINACION INTERRUPTOR-FUSIBLE.

Las consideraciones antes anotadas, en la coordinación relevador fusible, también son validas para este tipo de coordinación.

El gráfico-ejemplo IV-5 aclarará su aplicación.

IV-5).- COORDINACION INTERRUPTOR-RELEVADOR.

FIG. IV-5

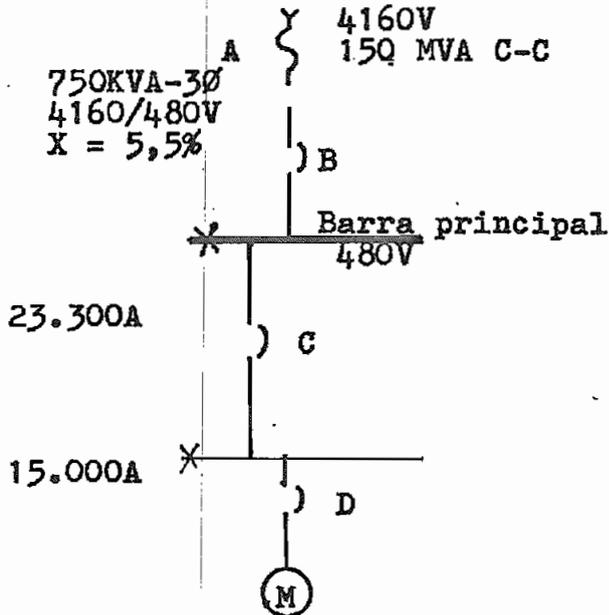
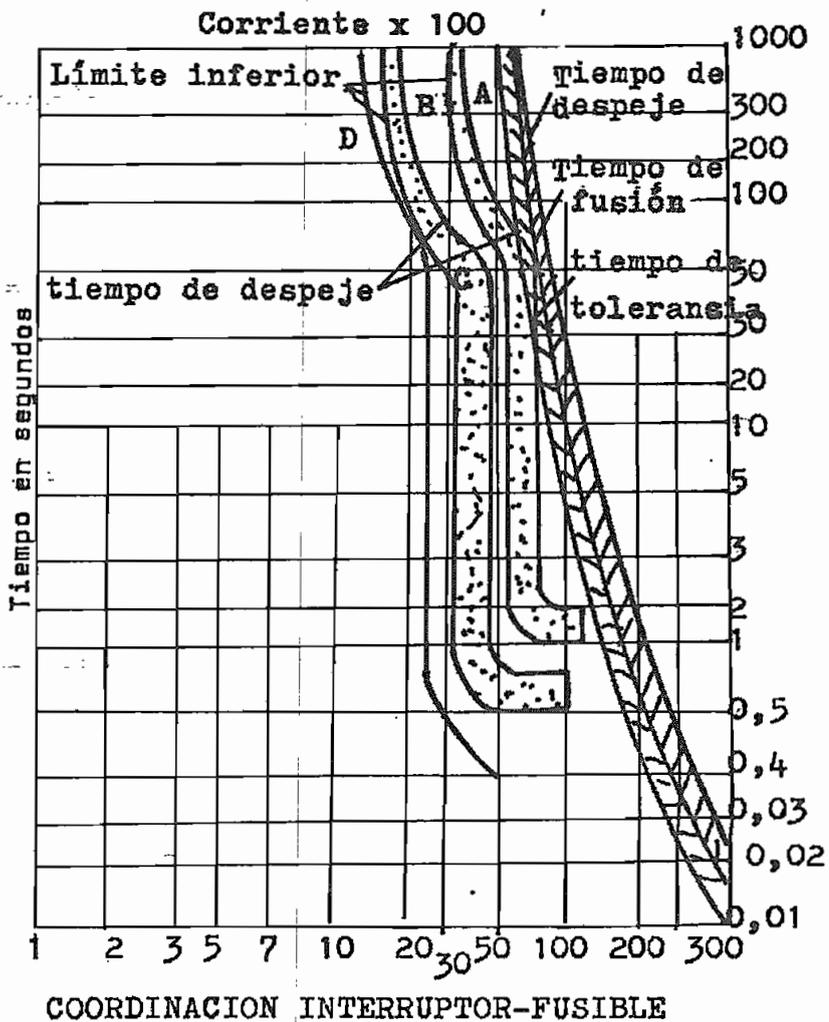


Diagrama unifilar



Cuando el interruptor de bajo voltaje equipado con unidades de disparo directo es coordinado con relevadores con interruptor, la coordinación del intervalo de tiempo es usualmente como de 0,4 S; este intervalo puede ser reducido como ya se indico en el caso de coordinación relevador-fusible.

El grafico-ejemplo IV-6 aclarara su aplicación.

IV-6).- COORDINACION RELEVADOR-INTERRUPTOR-FUSIBLE.

Las condiciones y características necesarias para coordinar estos elementos de protección, se los ha dado anteriormente en forma individual.

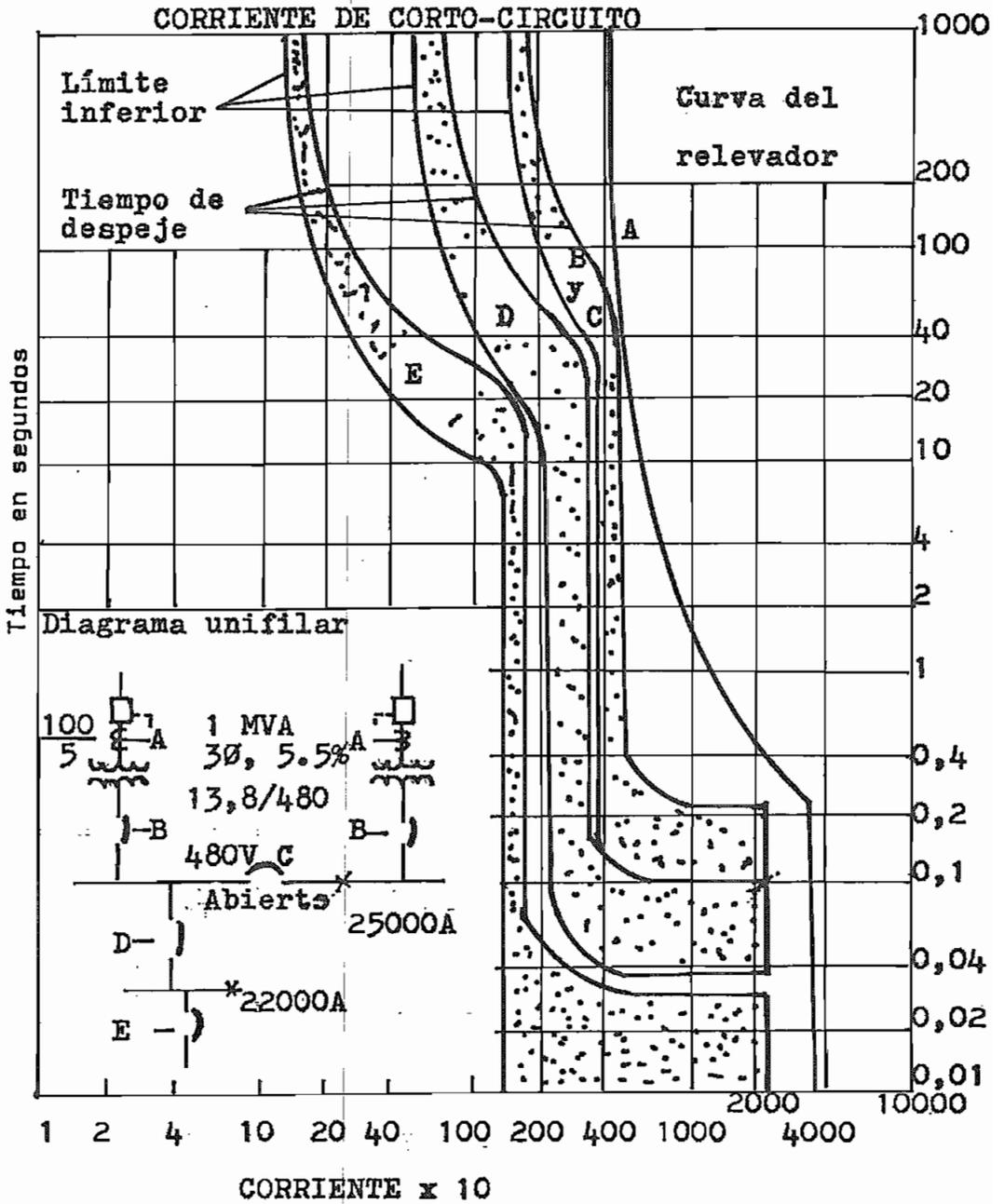
El gráfico-ejemplo IV-7 aclarará su aplicación.

De los ejemplos dados, con sus respectivos gráficos se deduce que es factible la coordinación de Interruptor-Interruptor, Relevador- Relevador, manteniendo siempre las consideraciones antes anotadas.

IV-7).- COORDINACION ENTRE LA PROTECCION DEL INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA Y LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DEL SISTEMA.

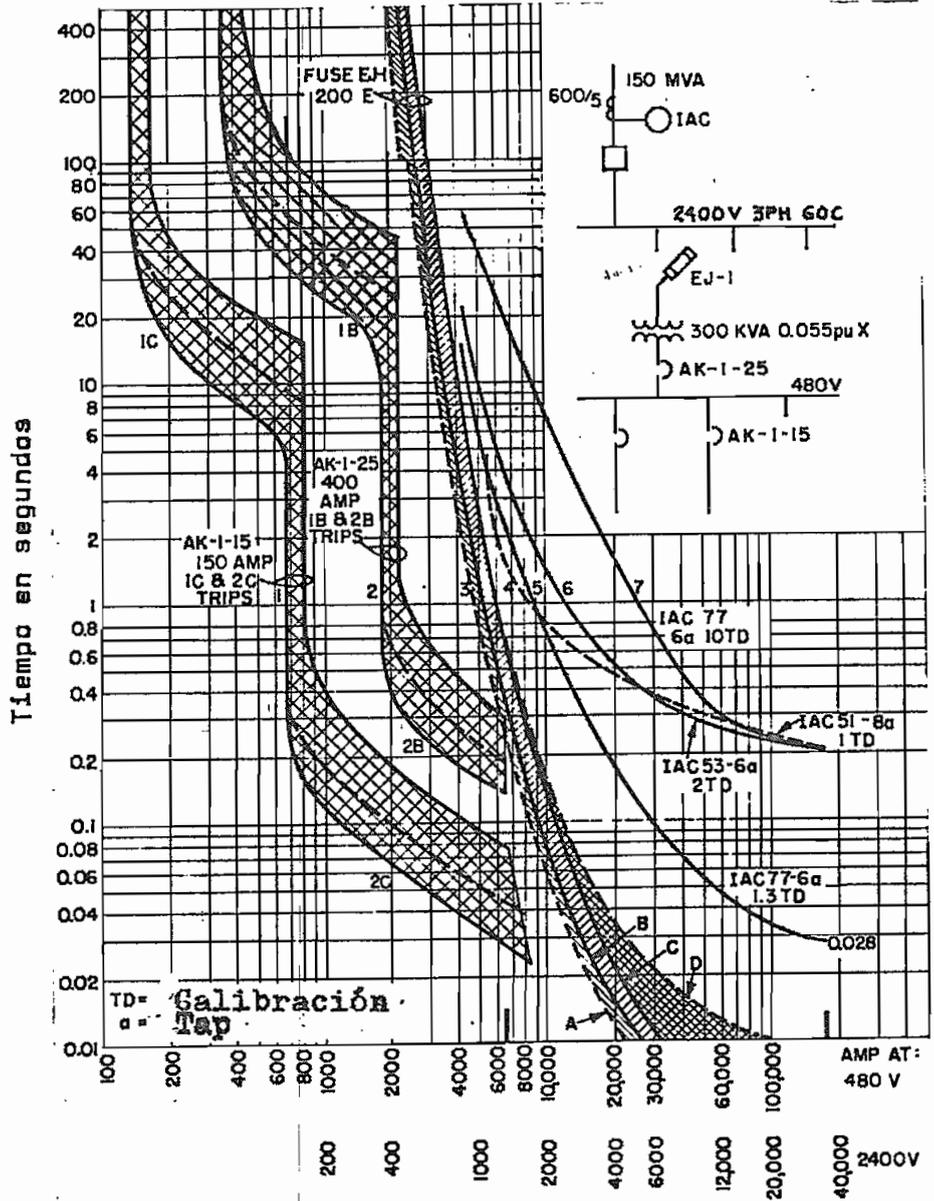
El interruptor de transferencia es un equipo cuya función es transferir en forma manual o automática carga desde una fuente de alimentación a otra. Por lo general tiene cuatro elementos básicos. Ver Fig, IV- 8

FIG. IV-6



COORDINACION INTERRUPTOR-RELEVADOR

FIG. IV-7



CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO

COORDINACION INTERRUPTOR-FUSIBLE-RELEVADOR

a).- Contactos principales .

Su finalidad es desconectar la carga o conectarla a la fuente de emergencia o a la red pública.

b).- El mecanismo de transferencia que efectúa la conmutación de los contactos principales de fuente a fuente.

c).- Los controles que revisan la condición de las fuentes de potencia.

d).- Aparato protector.

Es un aparato protector de sobrecorriente para abrir el circuito automáticamente, a una corriente predeterminada de sobrecarga o corto-circuito. Este elemento protector puede ser un fusible limitador de corriente o un interruptor termomagnético; Se lo coloca en serie con el interruptor de transferencia, y por lo tanto su escogimiento se lo realiza en función de este y no como una unidad integral.

El aparato protector debe soportar condiciones anormales en su funcionamiento debido a las siguientes razones;

a).- El generador de emergencia es diseñado para tomar tda la carga o parte de ella.

b).- El generador para tomar carga necesita de 0-10 S después de dada la orden de arrancar el grupo electrógeno.

FIG. IV-8

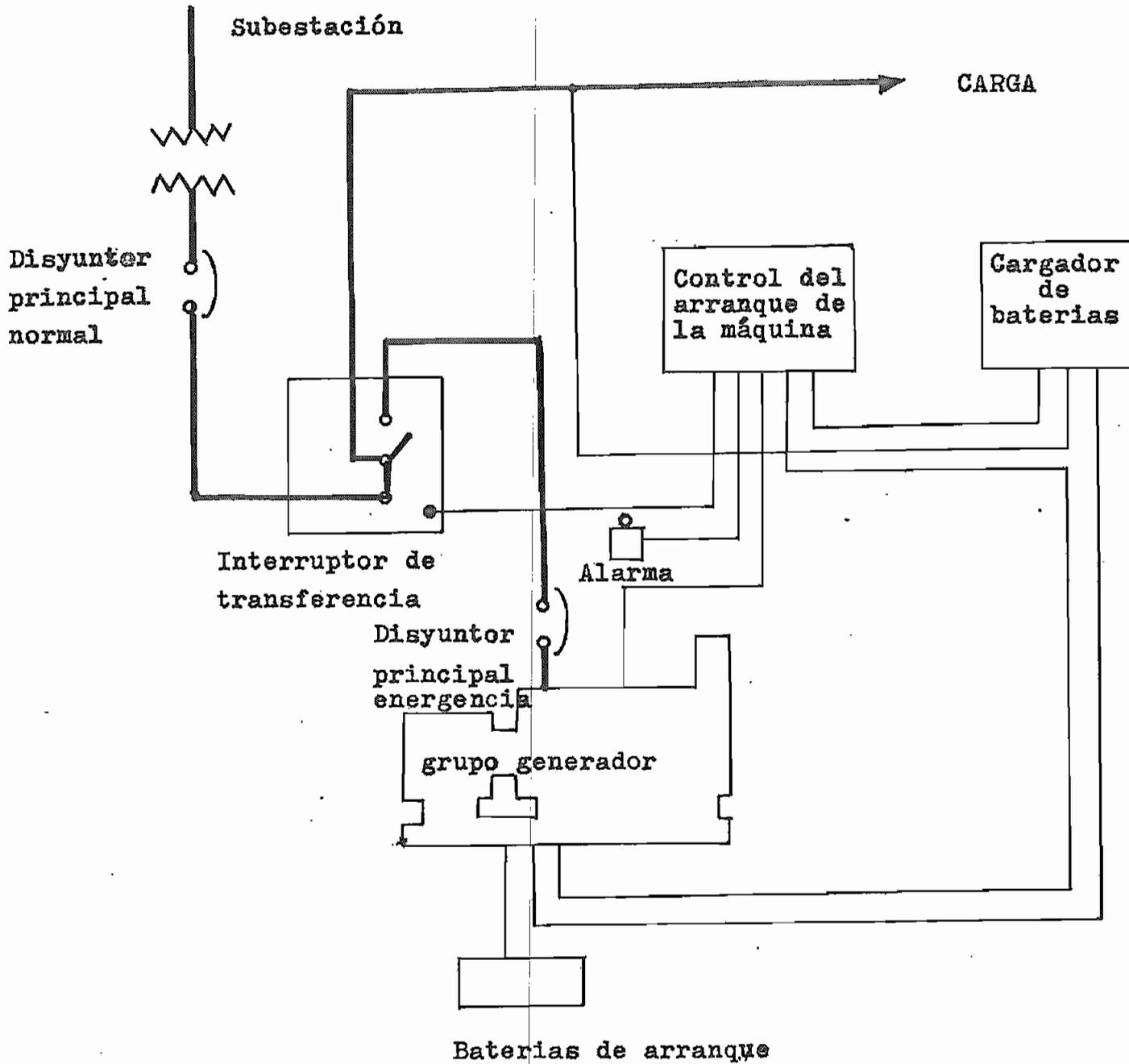


DIAGRAMA DE UN GRUPO-GENERADOR DE EMERGENCIA

El escogitamiento adecuado del aparato de protección depende de los criterios anteriormente anotados.

Con el aparato protector escogido se coordina este con los demás elementos de protección del sistema, siguiendo los pasos ya indicados anteriormente.

La coordinación entre el disyuntor principal (aparato protector) y el interruptor de transferencia debe ser realizada para conseguir, que en caso de falla en el sistema sea en ultimo caso solo en disyuntor el que elimine la falla y no el interruptor de transferencia. Ver Fig, IV-8 .

CAPITULO V

EJEMPLO DE APLICACION

V-1).- GENERALIDADES.

Para aplicación de este trabajo se ha tomado el sistema industrial de la fábrica " ALAMBREC " que está ubicada en el Km 14½ de la panamericana sur. Su rama de actividad es la producción de toda clase de alambres trifilados y galvanizados, clavos, puas y grapas para todo tipo de uso.

Las partes constitutivas del proceso de producción son las siguientes.

a).- Zona de Decapado.

En esta zona se limpia al alambón (materia prima) de impurezas por medio de ácido sulfúrico

b).- Zona de Trifilado.

En esta zona se realiza el estiramiento del alambón a diferentes diámetros.

c).- Zona de Clavería.

En esta zona se produce los clavos y grapas

d).- Zona de Spiders O devanadoras.

Son aparatos destinados a sostener los enrollados de alambrón para poder desenvolverlos y utilizarlos.

e).- Zona de tina de plomo.

En esta zona se quema al jabón del trefilado.

f).- Zona de Decapado (2).

En esta zona se limpia al alambrón de impurezas recogidas en el proceso por medio de ácido sulfúrico.

g).- Zona de Lavado.

Es la zona donde se lava al alambrón con agua simple

h).- Zona de Flux.

En esta zona se trata al alambrón con extracto de amoníaco para dar mayor poder de adherencia para el galvanizado.

i).- Zona de tina de Zinc.

Es un crisol de Zinc para por inmersión galvanizar los alambres

V-2).- DIAGRAMA UNIFILAR. (Ver anexo 1)

La carga instalada en cada celda (tablero) y sub-celda (sub-tablero) es la siguiente.

DENOMINACION	NUMERO DE MOTORES	ALUMBRADO	POTENCIA TOTAL (KW)
<u>CELDA-7</u>			
C7-1	1 5 HP 6 36 HP		3,73 <u>161,13</u>
Total C7-1			164,86
C7-2	1 5 HP 8 36 HP		3,73 <u>214,84</u>
Total C7-2			218,57
C7-3	1 5 HP 9 36 HP		3,73 <u>241,70</u>
Total C7-3			245,43
C7-4	1 5 HP 8 1,2 HP 9 36 HP		3,73 7,16 <u>241,70</u>
Total C7-4			252,59
C7-5 --- Tr6			
Tr6-1		18-L-250 W	4,5
Tr6-2		6-R-400 W 8-L-250 W 56-L-40 W	2,4 2,0 <u>2,24</u>
Total C7-5 -- Tr6			11,14
TOTAL DE CARGA INSTALADA A LA CELDA 7			892,59

CELDA - 6.

C6-1 -- Tr5

Tr5-1	4	1/3 HP	0,99
	3	0,95 HP	2,12
	1	1,5	<u>1,11</u>

Total Tr5-1			4,22
-------------------	--	--	------

Tr5-2	2	5,4	<u>4,02</u>
-------	---	-----	-------------

Total de carga instalada a Tr5			8,24
--------------------------------------	--	--	------

En esta celda también se conecta un banco de capacitores de 250 KVAR.

TOTAL DE CARGA INSTALADA A LA CELDA 6			8,24
---	--	--	------

CELDA - 5.

Llegada del transformador principal

CELDA - 4.

C4-1 -- Tr4

Tr4-1	Una cocina		15,00
-------	------------	--	-------

Tr4-2		29-L-40 W	1,16
		45-L-110W	4,95
		6-L-25 W	<u>0,15</u>

Total Tr4-2			6,26
-------------------	--	--	------

Tr4-3		120-L-40 W	4,8
-------	--	------------	-----

Total de carga instalada a Tr4			26,06
--------------------------------------	--	--	-------

C4-1 -- Tr3

Tr3-1		26-L-250 W	6,5
Tr3-2		7-L-400 W	2,8
		4-L-400 W	0,16
		2-L-110 W	0,22
	3		8,25
	1	4 HP	0,37
		0,5 HP	7,00
		28-L-250 W	
Total Tr3-2			18,80

Total de carga instalada a Tr3 25,30

C4-1 -- Tr2

Tr2-1		27-L-250 W	6,75
		34-F-40 W	1,36
		3-L-100 W	0,3
		2-L-200 W	0,4
Total Tr2-1			8,81

Tr2-2		54-L-250 W	13,50
		70-F-40 W	2,8
		3-L-25 W	0,07
		3-L-60 W	0,18
Total Tr2-2			16,55

Total de carga instalada a Tr2 25,36

Total de carga instalada a C4-1 = Tr2 + Tr3 + Tr4 + Un
 motor de 4 HP
 = 25,36 + 25,30 + 26,06 +
 2,98 = 79,70

C4-2	1	5 HP	3,73
	4	36 HP	107,42
Total C4-2			111,15

C4-3	1	6,3	HP	4,69
	5	24,5	HP	91,38
	6	3,6	HP	<u>16,11</u>
Total C4-3				112,18
C4-4	2	0,6	HP	0,9
	3	10,2	HP	22,82
	2	5,7	HP	8,5
	9	6,5	HP	<u>43,64</u>
Total C4-4				75,86
C4-5 -- Tr7				
Tr7-1	1	3	HP	2,23
	1	5,4	HP	4,08
	1	2,4	HP	1,79
	1	0,5	HP	0,37
	1	2	HP	1,49
			2-L-250 W	<u>0,5</u>
Total Tr7-1				10,46
Tr7-2	1	6	HP	4,47
	1	5,4	HP	4,08
	1	2	HP	<u>1,49</u>
Total Tr7-2				10,04
Tr7-3	3	2		4,47
Tr7-4	4	2		5,96
Tr7-5	1	5,5	HP	4,08
	1	3,5	HP	2,61
	1	3	HP	<u>2,23</u>
Total Tr7-5				8,92
Tr7-6	2	5,4	HP	8,05
	1	3	HP	2,23
	1	0,5	HP	<u>0,37</u>
Total Tr7-6				10,65
Total Tr1-4				<u>13,49</u>
Tr1-5	1	12	HP	8,95
	1	8,5	HP	<u>6,34</u>
Total Tr1-5				15,29
Tr1-6	1	5,4	HP	4,08
	1	4	HP	<u>2,98</u>
Total Tr1-6				7,06

Tr7-7	5	2 HP	7,45
Tr7-8	1	4 HP	2,98
Total de carga instalada a Tr7			60,93

C4-5 -- Tr1

Tr1-1	1	6,3 HP	4,69
	1	6,6 HP	4,92
	1	15 HP	<u>11,19</u>
Total Tr1-1			20,80

Tr1-2	1	13,6 HP	10,14
	1	0,5 HP	0,37
	1	5 HP	3,73
	2	2 HP	2,98
	1	2,3 HP	1,71
	1	0,9 HP	<u>0,71</u>
Total Tr1-2			19,66

Tr1-3 conectado solo tomacorrientes.

Tr1-4	3	4,7 HP	10,57
	1	4 HP	<u>2,98</u>
Total Tr1-4			13,49

Tr1-5	1	12 HP	8,95
	1	8,5 HP	<u>6,34</u>
Total Tr1-5			15,29

Tr1-6	1	5,4 HP	4,08
	1	4 HP	<u>2,98</u>
Total Tr1-6			7,06

Existe dos circuitos libres.

Total de carga instalada a Tr1 67,19

Total de carga instalada a C4-5 = Tr7 + Tr1 =
= 60,93 + 67,19 = ... 128,12

TOTAL DE CARGA INSTALADA A LA CELDA 4 507,01

CELDA - 3.

C3-1	3	0,72	HP	1,61
	1		7 HP	<u>5,22</u>

Total C3-1 6,83

C3-2	1	0,6	HP	0,44
	3	0,7	HP	1,61
	1	9,6	HP	7,16
	1	3,0	HP	2,53
	1	6,6	HP	4,92
	1	5,0	HP	3,73
	1	7,5	HP	5,59
	2	3,0	HP	4,47
	1	6,8	HP	4,68
	1	9,5	HP	7,16
	2	2,7	HP	4,02
	2	9,0	HP	6,71
	2	3,0	HP	4,47
	1	2,4	HP	1,79
	1	5,5	HP	<u>4,10</u>

Total C3-2 63,39

C3-3	1	28	20,8
	1	10,6	7,9
	2	7,5	11,1

Total C3-3 39,9

C3-4	1	40,8	30,4
	1	1,8	1,3
	1	23,8	17,7

Total C3-4 49,5

C3-5 1 54 40,2

TOTAL CARGA CONECTADA A LA CELDA 3 199,4

Celda - 2

C2-1	3	0,72	1,6
	1	9,6	7,1

Total C2-1 8,7

C2-2 1 27 20,1

C2-3 . En esta celda también se conecta un banco de condensadores de 250 KVAR.

TOTAL CARGA CONECTADA A LA CELDA 2 28,8

Celda -1

C1-1 1 54 40,2

C1-2	2	10 HP	14,92
C1-3	1	6,6 HP	4,92
	1	3 HP	2,23
	2	Resistencias de 75 Kw c/u	<u>150,00</u>
Total C1-3			157,12
TOTAL DE CARGA INSTALADA A LA CELDA 1			212,32
<u>TOTAL DE CARGA INSTALADA EN EL SISTEMA.</u>			
CELDA - 7			892,59
CELDA - 6			8,24
CELDA - 5			-----
CELDA - 4			507,01
CELDA - 3			199,44
CELDA - 2			28,84
CELDA - 1			<u>212,32</u>
TOTAL DE CARGA INSTALA AL SISTEMA			1848,44

El total de la carga instalada por celda y sub-celda se da en el diagrama de bloques del anexo 1.

Para el cálculo de la demandada máxima se considera un factor de demanda de 0,5; con este valor y de acuerdo a la carga instalada se tiene como demanda máxima lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{DEMANDA MAXIMA} &= \text{Factor de demanda} \cdot \text{Carga instalada} \\ &= 0,5 \cdot (1848,44 \text{ KW}) = 924,22 \text{ KW} \end{aligned}$$

V-3).- ESTUDIO DE CORTO-CIRCUITOS.

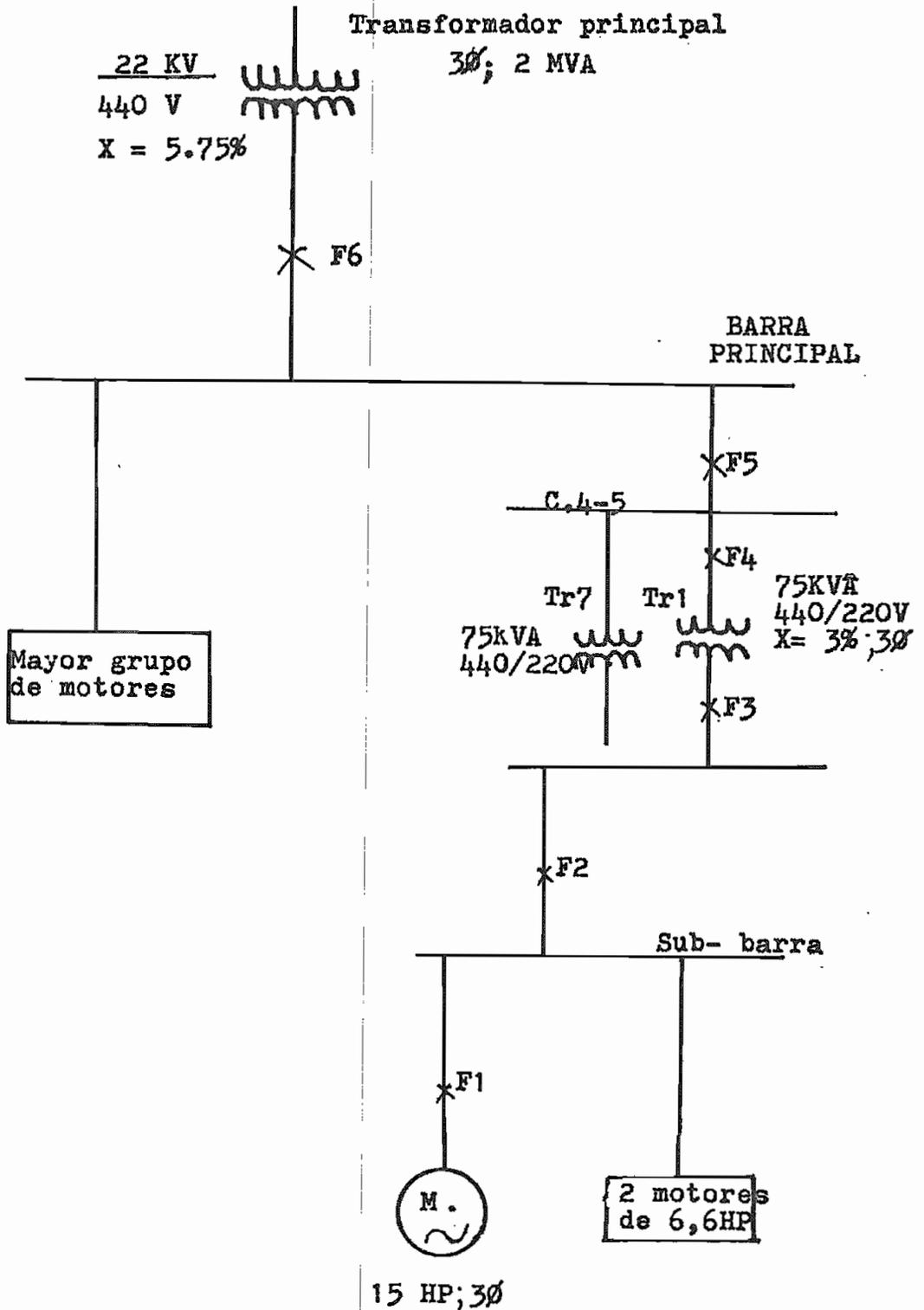
Por tener el sistema circuitos de mucha similaridad, se ha tomado para el cálculo de las corrientes de corto-circuito, solo un circuito, que representa la mayoría de características del sistema. Diagrama V-1.

Para el proceso de cálculo se ha considerado lo siguiente;

- a).- Las impedancias de los conductores son despreciables en comparación con la de los motores, debido a que sus longitudes varían en toda la fábrica entre 5-40 metros como máximo; esto implica que los M.V.A.cc de los conductores son despreciables en comparación con los M.V.A.cc de los motores.
- b).- Se desprecian los bancos de capacitores como fuentes de corto-circuito debido al valor alto de M.V.A.cc del sistema (58,71 M.V.A.cc)
- c).- En los circuitos a 220 V por ser en su mayoría de alumbrado y tomacorrientes, se tomará solo el valor de la impedancia en p.u. del transformador respectivo, para el M.V.A.cc

DIAGRAMA V-1

Diagrama unifilar del circuito escogido.



d).- De acuerdo a referencias se tomó los siguientes valores de impedancias en P.U.

Referencia 1 Pag. 197

Para motores de valor menor a 50 HP-600V

$$X_d^{\prime\prime} = 0,25 \quad X_d^{\prime} = \text{---}$$

Referencia 8 Pag. 215

Para transformador 30/75 KVA

$$X = 0,032$$

Referencia 2 Pag. 45

Transformadores mayores de 500 KVA

$$X = 0,0575$$

Para obtener los valores de carga instalada del Anexo 2 (solo motores) en potencia aparente (S) se ha utilizado la siguiente ecuación.

$$\text{Potencia aparente} = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Factor de potencia}} \quad |V.A.|$$

$$\text{Factor de potencia} = F.P. = 0,85$$

El nuevo diagrama de bloques de carga instalada en M.V.A. se da en el diagrama V-2

V-3.1).- Cálculo de Corto-circuito trifásico.

De acuerdo al método del M.V.A. es necesario obtener los M.V.A. cc. en cada motor y en cada barra además del de los transformadores, para lo cual se emplea las siguientes ecuaciones;

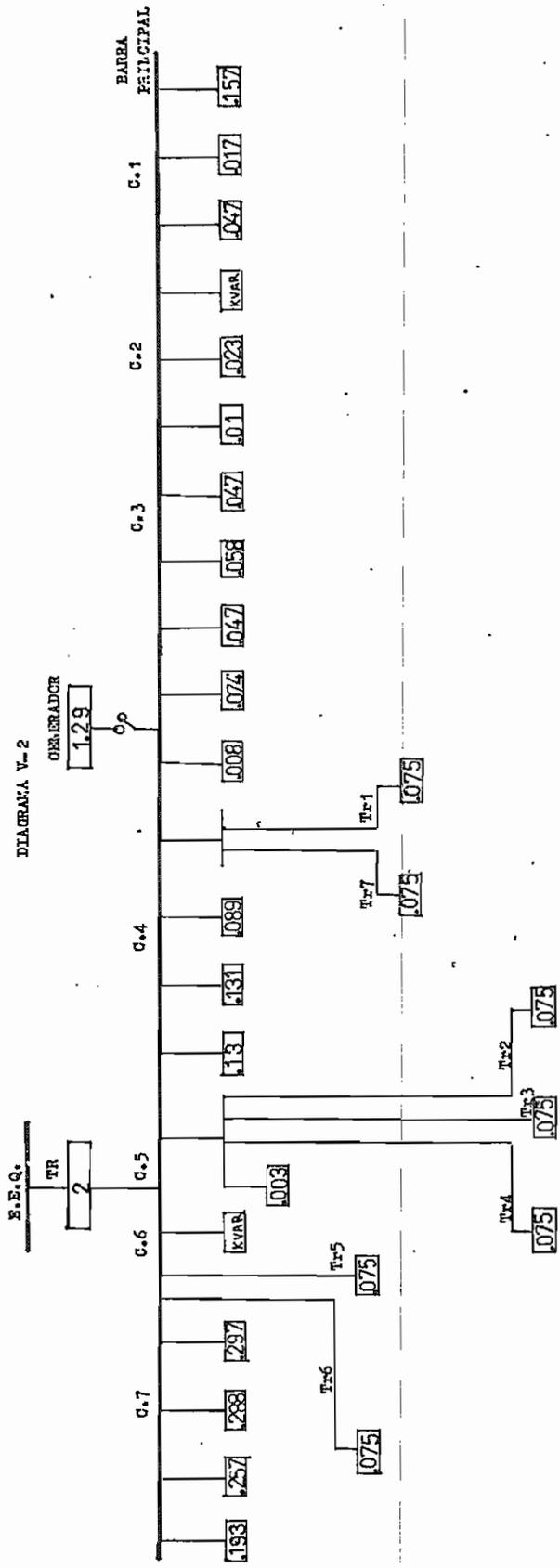


DIAGRAMA DE BLOQUES DE CARGA CONECTADA
EN M.V.A.

Para motores (circuitos a 440V)

$$M.V.A.cc = \frac{\sum MVA}{Xpu}$$

MVA = Potencia aparente nominal de cada motor conectado a la barra

Xpu = 0,25 (valor dado en tablas)

Para los transformadores

$$M.V.A.cc = \frac{MVA}{Xpu}$$

MVA = Potencia aparente nominal del transformador

Xpu = 0,032 para transformador de 75 KVA

Xpu = 0,0575 para transformador de 2 MVA

El diagrama de bloques con los valores de M.V.A.cc por sub-barras o subtablero se da en el diagrama V-3.

El proceso de reducción y cálculo de la corriente de corto-circuito trifásico en diferentes puntos de falla asumidos, se da en los diagramas V-4 a V-9 .

V-3.2).- Cálculo de Corto-circuito fase-tierra.

Para este cálculo se ha considerado lo siguiente;

a).- Las impedancias de secuencia cero en los motores es 1/2 de las impedancias de secuencia positiva. (capítulo III)

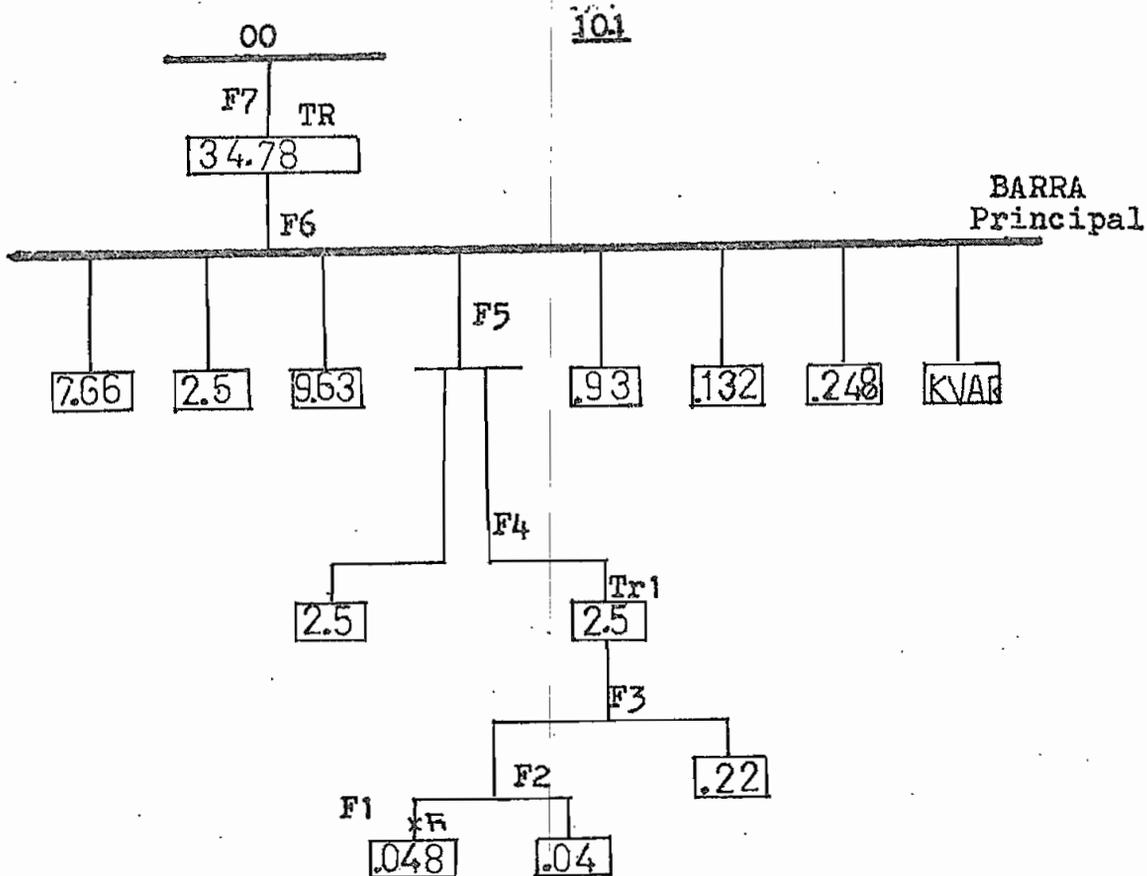
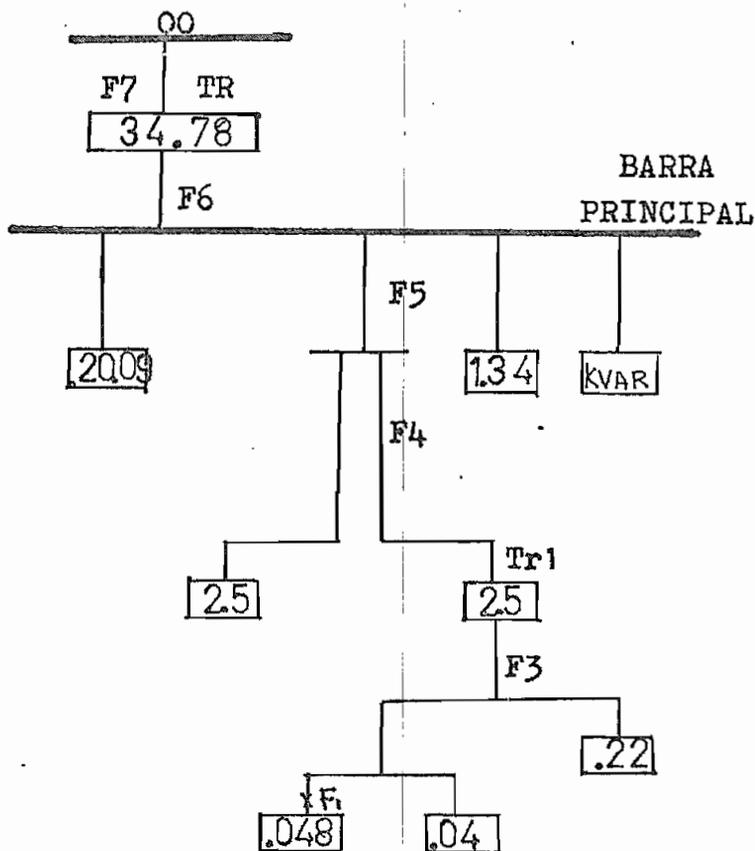
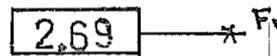
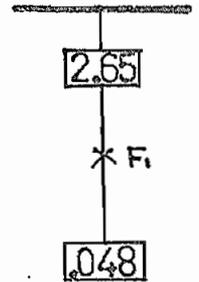
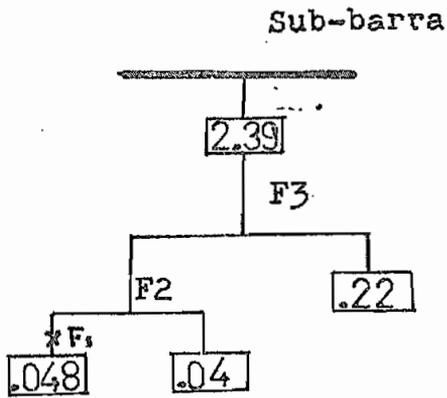


DIAGRAMA V-4

Reducción para el cálculo de la corriente de corto-circuito trifásica en el punto F1.



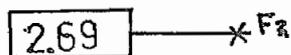
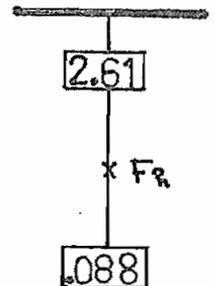
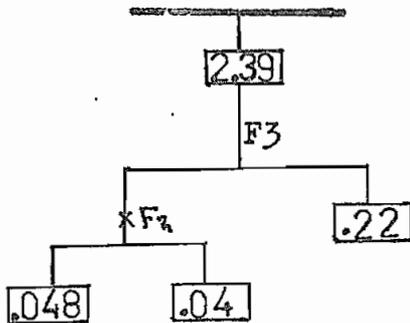


$$I_{cc}(3\phi) = \frac{2.69 \text{ MVAcc}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}}$$

$$= 7.059,41 \text{ A}$$

DIAGRAMA V-6

Cálculo en el punto F2



$$I_{cc}(3\phi) = \frac{2.69 \text{ MVAcc}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}}$$

$$= 7.059,41 \text{ A}$$

Cálculo en el punto F3

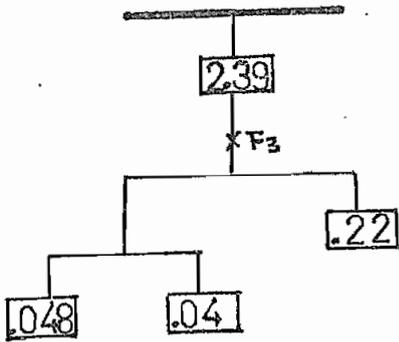
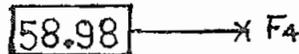
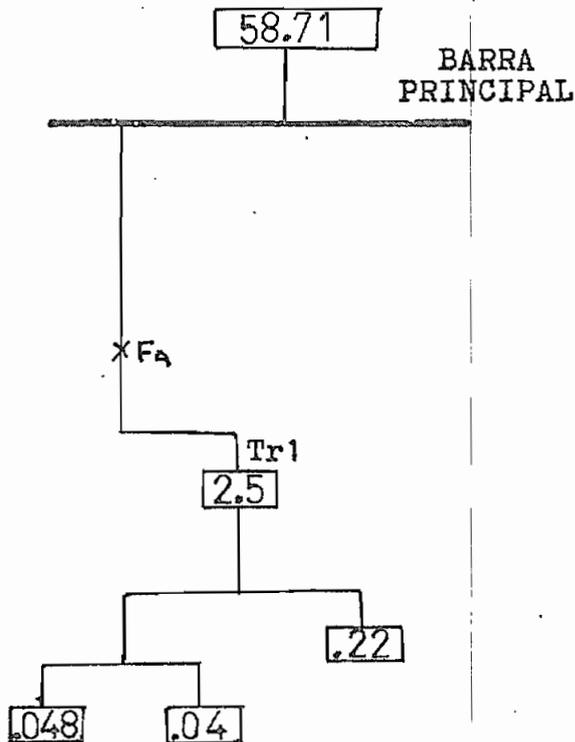
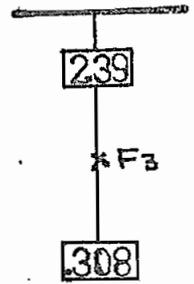


DIAGRAMA V-7

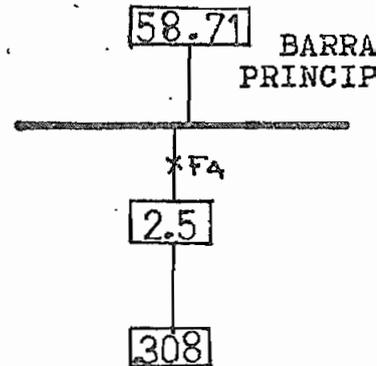
Cálculo en el punto F4



$$I_{cc}(3\phi) = \frac{58.98 \text{ MVA}_{cc}}{\sqrt{3} \cdot 440V} = 77.391,1$$



$$I_{cc}(3\phi) = \frac{2.69 \text{ MVA}_{cc}}{\sqrt{3} \cdot 220V} = 7.059,41 \text{ A}$$



Cálculo en el punto F5

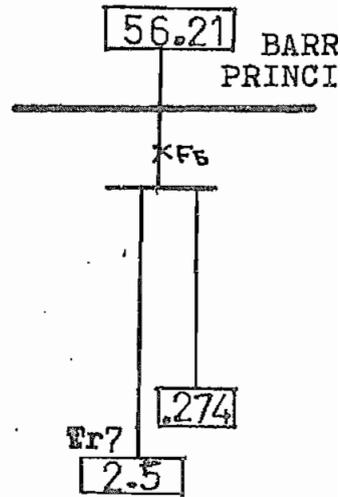
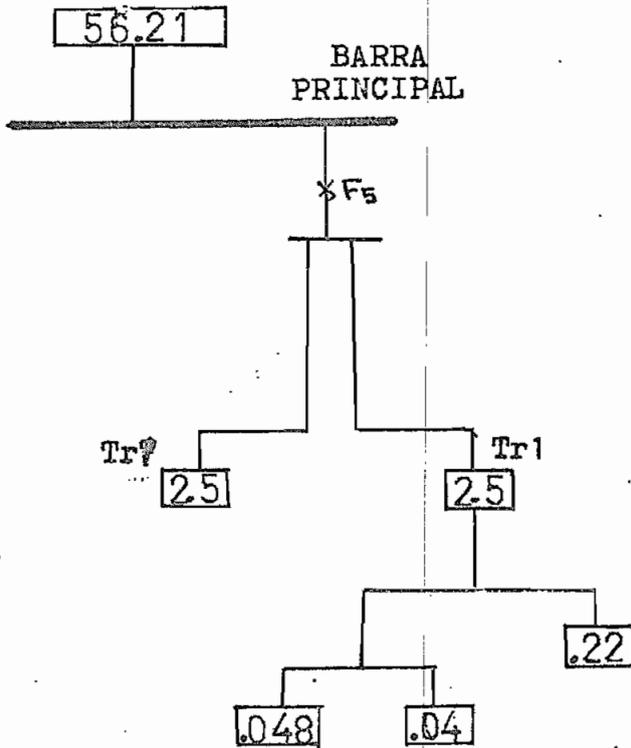
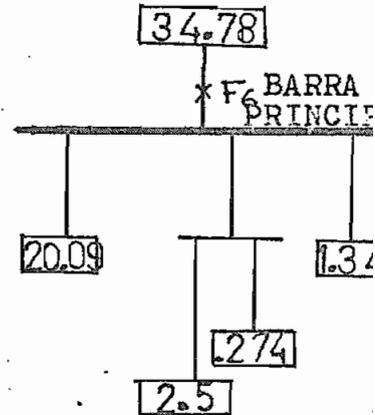
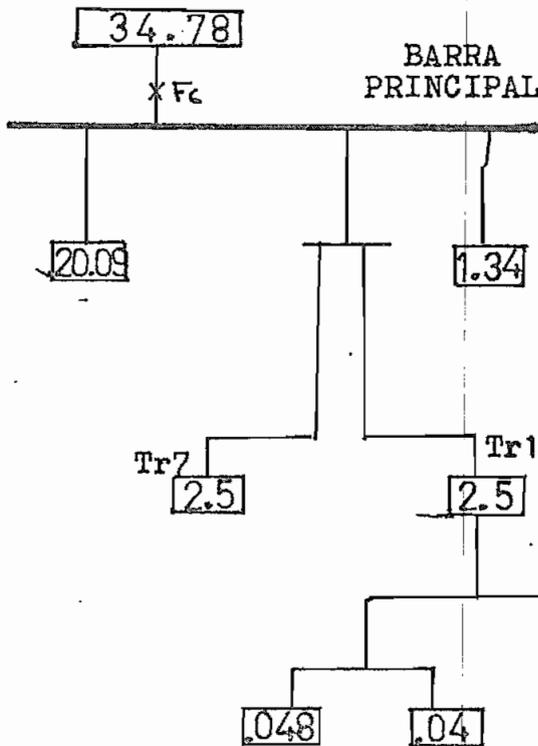


DIAGRAMA V-8

$$I_{cc}(30) = \frac{58.98 \text{ MVA}_{cc}}{\sqrt{3} \cdot 440 \text{ V}} = 77.391, 1$$

Cálculo en el punto F6



$$I_{cc}(30) = \frac{58.98 \text{ MVA}_{cc}}{\sqrt{3} \cdot 440 \text{ V}} = 77.39$$

Cálculo en el punto F7

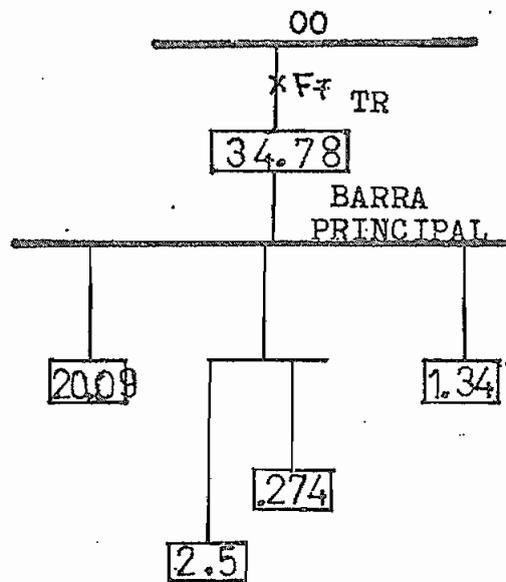
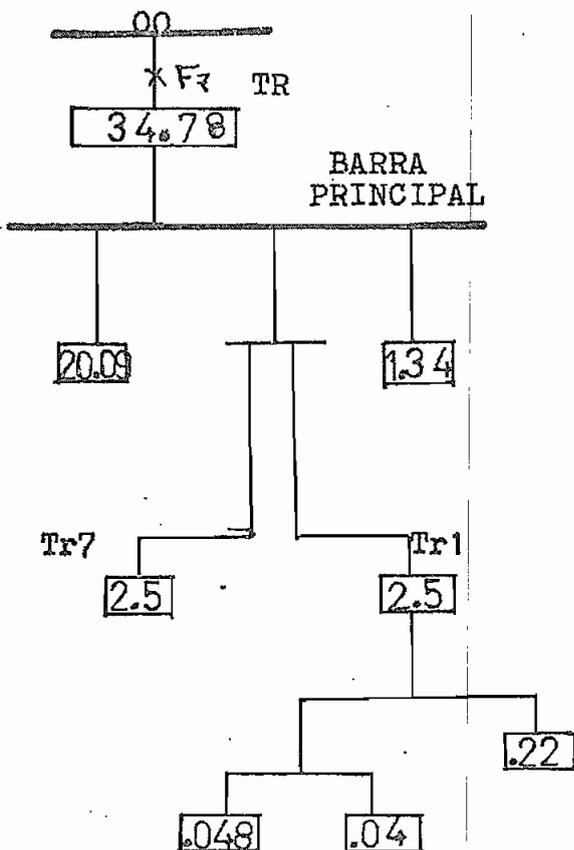
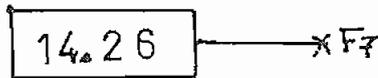
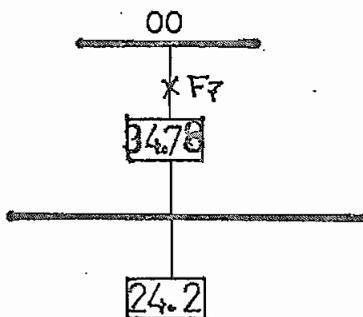


DIAGRAMA V-9



$$I_{cc}(30) = \frac{14.26 \text{ MVacc}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ KV}} = 374.22 \text{ A}$$

b).- Las impedancias de secuencia cero de los transformadores son de igual valor a las impedancias de secuencia positiva (capítulo III).

El Diagrama V-10 indica los valores de M.V.A.cc en bloques.

El proceso de reducción y cálculo de las corrientes de corto-circuito fase-tierra es similar al de falla trifásica, por lo que no se repetira y tan solo se indicara sus resultados y se los comparara con los obtenidos para falla trifásica.

Punto	Falla trifásica Icc (A)	Falla fase-tierra Icc (A)	IccF-T Icc 3
F1	7.059,41	7.426,82	1,05
F2	7.059,41	7.426,82	1,05
F3	7.059,41	7.426,82	1,05
F4	77.391,17	81.314,53	1,05
F5	77.391,17	81.314,53	1,05
F6	77.391,17	81.314,53	1,05
F7	397,05	374,22	1,06

De estos valores se deduce que la corriente de corto-circuito fase-tierra es la mayor.

La corriente mínima de falla es la de Fase-Fase.

$$I_{cc} \text{ f-f} = \left| \frac{V}{Z_1 + Z_2} \right| \quad A$$

DIAGRAMA V-10

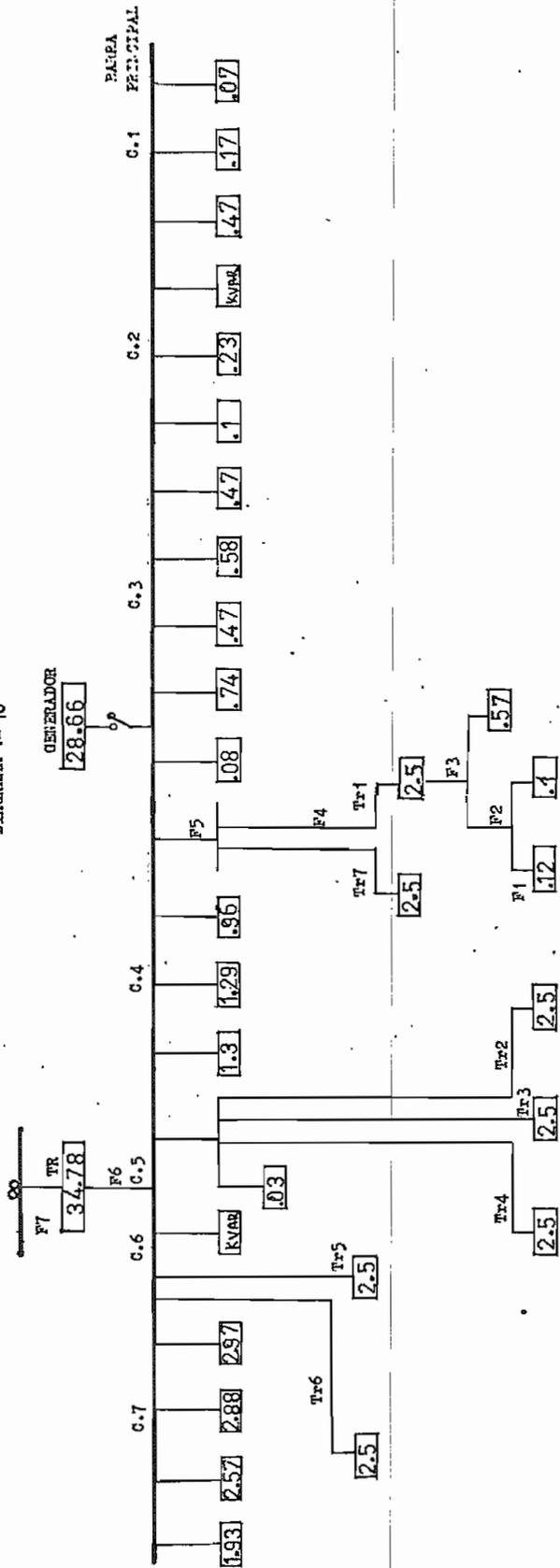


DIAGRAMA DE BLOQUES DE N.V.A.00 DE SECUENCIA CERO

-- VALORES DADOS EN M.V.A

Para este caso $Z_1 = Z_2$.

$$I_{cc} (f-f) = \frac{V}{2Z_1} = \frac{I_{cc} (\text{trifásica}) \cdot \sqrt{3}}{2}$$

Aplicando esta ecuación se obtiene los siguientes valores de corriente de corto-circuito fase-fase, que se indica en el siguiente cuadro junto a los valores de máxima corriente ya calculados

PUNTO.	MAXIMA	MINIMA
	$I_{cc} (F-T) \text{ A}$	$I_{cc} (F-F) \text{ A}$
F1	7.426,82	$\sqrt{3} \cdot 3.529,70$
F2	7.426,82	$\sqrt{3} \cdot 3.529,70$
F3	7.426,82	$\sqrt{3} \cdot 3.529,70$
F4	81.314,53	$\sqrt{3} \cdot 38.695,58$
F5	81.314,53	$\sqrt{3} \cdot 38.695,58$
F6	81.314,53	$\sqrt{3} \cdot 38.695,58$
F7	397,05	$\sqrt{3} \cdot 187,11$

Los valores de corriente obtenidos son simétricos o RMS. Para obtener la corriente asimétrica se multiplica el valor de la corriente simétrica por 1,73 (factor dado en la tabla N.4 pag.58 para la relación $X/R = \infty$)

Los nuevos valores de corriente asimétrica obtenidos se dan en el siguiente cuadro. Es de anotar que la asimétricas es necesaria para escoger el aislamiento de los conductores y la capacidad de interrupción de fusibles e interruptores.

PUNTO	MAXIMA	MINIMA
	I _{cc} (F-T) (A)	I _{cc} (F-F) (A)
F1	12.848,39	$\sqrt{3} \cdot 6.106,38$
F2	12.848,39	$\sqrt{3} \cdot 6.106,38$
F3	12.848,39	$\sqrt{3} \cdot 6.106,38$
F4	140.674,13	$\sqrt{3} \cdot 66.943,35$
F5	140.674,13	$\sqrt{3} \cdot 66.943,35$
F6	140.674,13	$\sqrt{3} \cdot 66.943,35$
F7	686,89	$\sqrt{3} \cdot 323,70$

→ Revisar

↓ V-4).- PROTECCION DEL CIRCUITO ESCOGIDO.
+

Aplicando los conceptos dados en el capitulo III y de acuerdo a sus corrientes nominales de carga, el circuito escogido tiene las siguientes protecciones.

a).- Protección (A) para motor de 15 HP

$$I_n = \frac{15 \text{ HP} \cdot 746 \text{ W}}{0,85 \sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}} = 34,54 \text{ A}$$

Para el escogitamiento de la protección

$$I = \underline{1,25} I_n = 1,25 \times 34,54 \text{ A} = 43,17 \text{ A}$$

Elemento de protección.- Interruptor térmomagnético

Objeto.- Protección del motor contra sobrecargas y corto-circuitos.

Características.- I_n = 50 A de 3 polos, Capacidad de interrupción 10.000 A RMS, V= 240 V c.a , Marca de la SQUARE D COMPANY

b).- Protección (B) de alimentador

Para el escogitamiento de la protección

$$I = I_{arrq} \text{ (motor mayor)} + I_{pc} \text{ (otros motores)}$$

El mayor motor es el de 15 HP, por lo que

$$I_{arrq} = 2,5 I_n = 2,5 \times 34,54 \text{ A} = 86,35 \text{ A}$$

$$I_{pc} = I_n ;$$

$$I_n = \frac{12,9 \text{ HP} \times 746 \text{ W}}{0,85 \times \sqrt{3} \times 220 \text{ V}} = 29,71 \text{ A}$$

$$I = 86,35 \text{ A} + 29,71 \text{ A} = 116,06 \text{ A}$$

Elemento de protección.- Fusible

Objeto.- Protección del alimentador contra corto-circuitos

Características.- $I_n = 125 \text{ A}$, tipo limitador de corriente

$V_n = 250 \text{ V}$, Marca de la JEAN MÜLLER

c).- Protección en 440 V del transformador de 75 KVA

$$\begin{aligned} I_n + \text{sobrecarga} &= \frac{75 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V}} + 0,2 I_n = \\ &= \frac{75 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V}} + 0,2 \times \left(\frac{75 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V}} \right) = 118,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Elemento de protección .- Fusible

Objeto.- Protección contra corto-circuitos y sobrecargas

Características.- $I_n = 125 \text{ A}$, tipo limitador de corriente

$V_n = 500 \text{ V}$; Marca de la JEAN MÜLLER

d).- Protección (D) de alimentador

Corriente para el escogitamiento de la protección

$$I = 2 \times I_n \text{ (de cada transformador) } + 20\% \text{ (sobrecargas)}$$

$$= 2 \times (98,41 \text{ A} + 0,2 \times 98,41 \text{ A}) = 236,18 \text{ A}$$

Elemento de protección.- Fusible

Objeto.- Protección del alimentador contra corto-circuitos

Características.- $I_n = 250 \text{ A}$; Tipo Limitador de corriente

$V_n = 500 \text{ V}$; Marca de la JEAN MÜLLER

e).- Protección (E) del alimentador principal o protección del transformador principal (2 MVA) en baja tensión.

$$I \text{ (en baja tensión de transformador de 2 MVA)} = I_n + 20\% I_n$$

$$I = \frac{2 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 440\text{V}} + 0,2 \times \left(\frac{2 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 440\text{V}} \right) = 3.149,14 \text{ A}$$

Elemento de protección.- Interruptor electromagnético

Objeto.- Protección contra corto-circuitos y sobrecargas

Características.- $I_n = 3.200. \text{ A}$; de 3 polos ; $V_n = 600 \text{ V}$; Capacidad de interrupción de 150.000 A RMS. Marca HITACHI*

Los elementos de protección escogidos son los indicados en el diagrama V-11 .

V-5).- COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL CIRCUITO ESCOGIDO:

Los pasos seguidos para realizar la coordinación de las protecciones del circuito escogido son los siguientes.

- a).- Conocimiento de los elementos de protección del diagrama unifilar V-11 y de sus curvas características.
- b).- Dibujar en una escala simple, la curva del elemento de protección más alejado (A); para este caso la del motor que es el interruptor termomagnético. Además dibujar las zonas de protección de cada transformador, V-12.
- b1).- Para el transformador de 75 KVA la zona de protección está limitada por los siguientes puntos. (capítulo III página 66).

$$I_n = \frac{75 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V}} = 196,82 \text{ A}$$

$$\text{Punto NEC} = 6 \times I_n = 6 \times (196,82 \text{ A}) = 1.180,92 \text{ A}$$

$$\text{Punto ANSI} = \frac{I_n (\text{ transformador })}{Z \text{ p.u}} = \frac{196,82 \text{ A}}{0,032} = 6.150,6$$

$$\begin{aligned} \text{Corriente Inrush (magnetización)} &= 8 \times I_n = \\ &= 8 \times 196,82 \text{ A} \\ &= 1.574,56 \text{ A} \end{aligned}$$

- b2).- Para el transformador de 2 MVA la zona de protección está limitada por los siguientes puntos, (capítulo III Pág,6

$$I_n = \frac{2 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V}} = 5.248,63 \text{ A}$$

$$\text{Punto NEC} = 6 \times I_n = 6 \times (5.248,63 \text{ A}) = 31.491,78 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto ANSI} &= \frac{I_n \times (\text{transformador})}{Z \text{ p.u}} = \frac{5.248,63 \text{ A}}{0,0575} \\ &= 91.280,52 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo (ANSI) } = Z\% - 2 = 5,75 - 2 = 3,73 \text{ Sg}$$

$$\begin{aligned} \text{Corriente Inrush (magnetización)} &= 8 \times I_n \\ &= 8 \times 5.248,63 \text{ A} \\ &= 41.989,04 \text{ A} \end{aligned}$$

c).- Comprobar si los elementos de protección escogidos para cada transformador están dentro de la zona de protección de cada uno de ellos. V-13

c1.- El fusible de 125 A (lado de 440 V) referido al lado de 220 V si está dentro de la zona de protección del transformador de 75 KVA

c2.- El interruptor electromagnético de 3.200 A (lado de 440V) referido a lado de 220 V está dentro de la zona de protección a excepción de la zona de disparo instantáneo.

d).- Dibujar todas las curvas de los elementos de protección en una escala simple; además señalar en esta escala las corrientes máximas y mínimas de interrupción, V-14

d1.- Los valores de corriente RMS y Pico permitidas de los fusibles limitadores de corriente, son los siguientes:

CORRIENTE MAXIMA

UBICACIÓN FUSIBLES	I (RMS) A CALCULADA	I (RMS) A PERMITIDA	I (PICO) PERMITIDA
B	7.426,53	3.500	7.000
C	81,314,53	6.000	15.000
D	81,314,53	15.000	24.000

CORRIENTE MINIMA

B	$\sqrt{3} \cdot 3.529,70$	3.529,70	5.500
C	$\sqrt{3} \cdot 38.695,58$	6.000,00	12.000
D	$\sqrt{3} \cdot 38.695,58$	10.000,00.	22.000

e).- Comprobar que las curvas de los diferentes elementos de protección no esten superpuestas.

f).- Comprobar que se cumpla la relación entre fusible protector y fusible protegido.

f1.- La relación entre el fusible B y C.

El fusible B es el protegido o protección primaria y el fusible C es el protector o protección de respaldo.

Para saber aproximadamente el tiempo máximo de despeje de un fusible se aumenta un 20% al tiempo mínimo de fusión del fusible, (capítulo II página 10).

Para la corriente RMS permitida que teóricamente debe soportar el fusible B y que es de 3.500 A el tiempo mínimo de fusión es de 0,003 Sg.

$$\text{Tiempo de despeje} = (0,003 + 0,2 \times 0,003) \text{ Sg} = 3,6 \times 10^{-3}$$

Para la misma corriente de corto-circuito, el tiempo mínimo de fusión del fusible C es de 0,015 Sg.

La relación a aplicarse es;

$$\frac{\text{MAXIMO TIEMPO DE DESPEJE DE LA PROTECCIÓN PRIMARIA}}{\text{MINIMO TIEMPO DE FUSION DE LA PROTECCION DE RESPALDO}} = 0,75$$

Remplazando con datos queda;

$$\frac{\text{Tiempo de despeje fusible B}}{\text{Tiempo de fusión Fusible C}} = \frac{3,6 \times 10^{-3}}{0,015} = 0,24$$

f2.- La relación entre el fusible C (protección primaria) y el fusible D (protección de respaldo) es.

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, pero para una corriente de corto-circuito de 12.000 A RMS en C (6.000 A RMS referido al lado de 440 V).

$$\frac{\text{Tiempo de despeje fusible C}}{\text{Tiempo de fusión fusible D}} = \frac{1,2 \times 10^{-3}}{0,006} = 0,2$$

En los dos casos se cumple la relación pedida.

g).- Comprobar que cada elemento de protección (A,B,C,D, E,) aisle la falla para los valores de máxima y mínima corriente

te de corto-circuito calculadas en su punto de aplicación.

h).- Análisis de los resultados obtenidos.

h1.- Las protecciones escogidas en función de la carga están adecuadamente seleccionadas.

h2.- Si existe Coordinación entre los diferentes elementos de protección del circuito escogido.

h3.- El interruptor de aire o de potencia de 3.200 A no está dentro de la zona de protección del transformador, pero si interrumpe para los valores de corto-circuito calculados.

h4.- Se podría poner otros fusibles de mayor valor a los usados, pero se tendría el problema de sobrecarga del transformador.

DIAGRAMA V-11

Diagrama unifilar del circuito escogido con las protecciones seleccionadas.

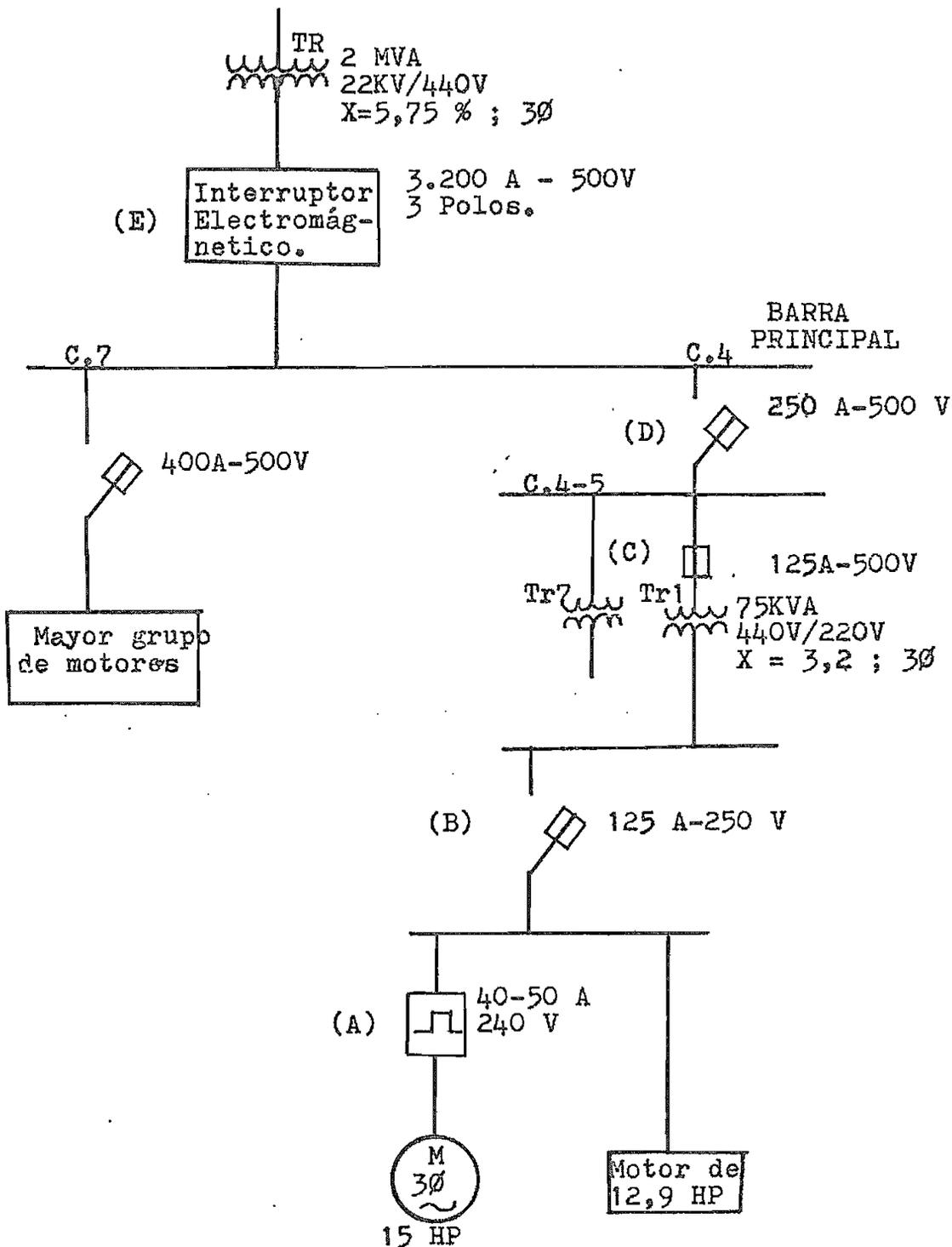


GRAFICO V-12

Curva característica del interruptor termomagnético de 40-50 A y zonas de protección de los dos transformadores referidos a lado de 220 V.

CORRIENTE EN AMPERIOS

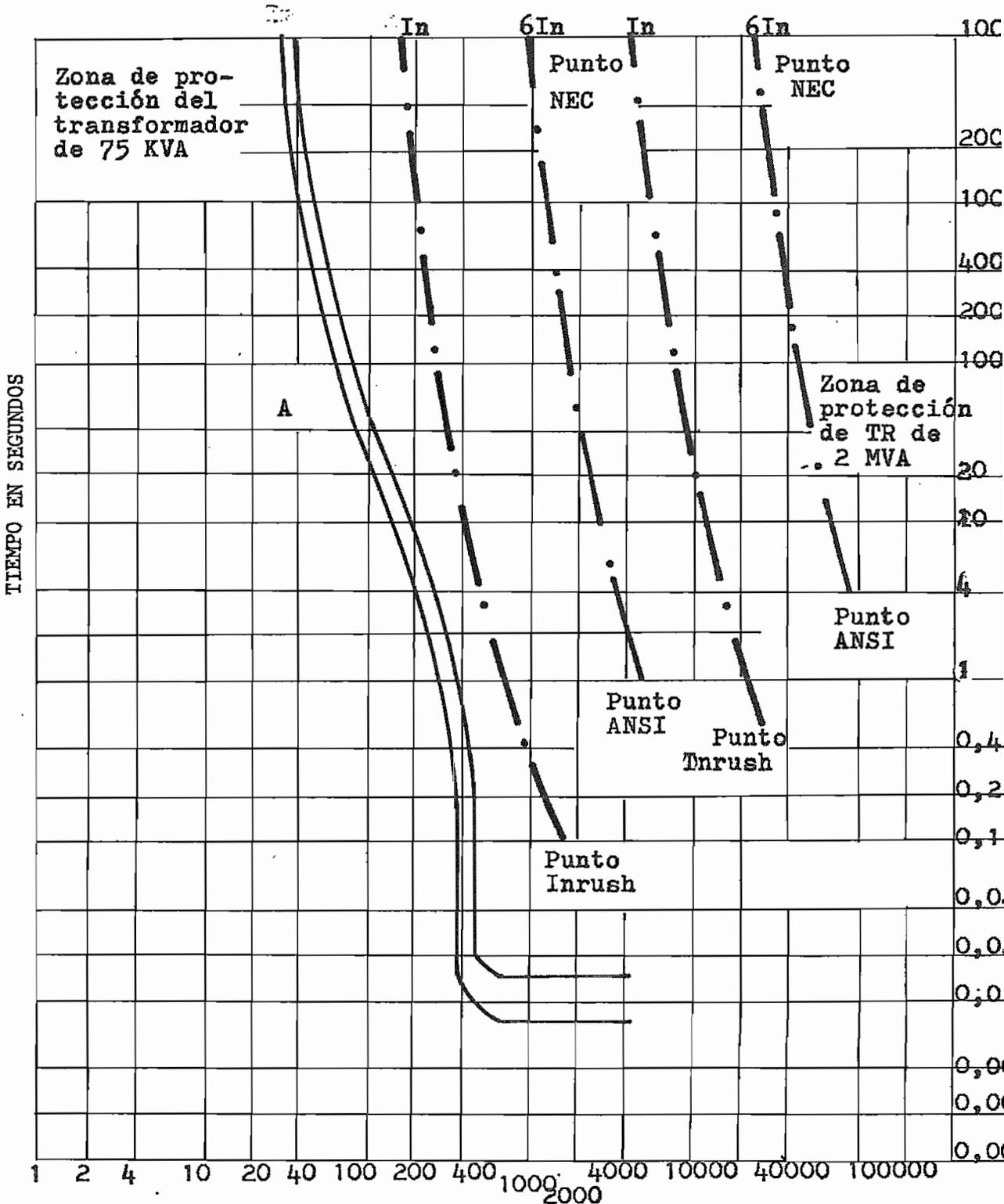


GRAFICO V-13

Curvas características del interruptor termomagnético de 40-50 y del fusible de 125 A, además del interruptor electromagnético de 3.200 A.

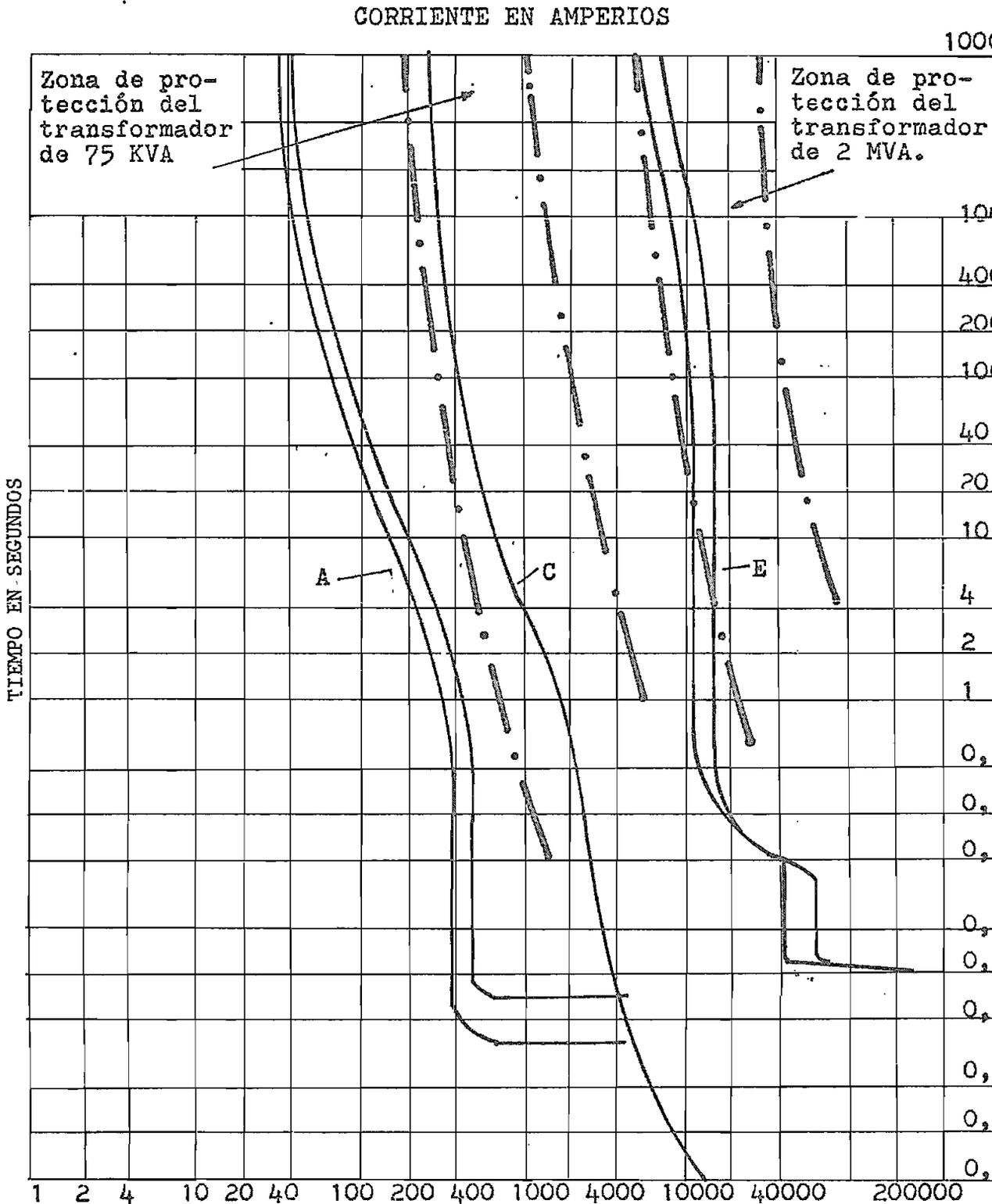
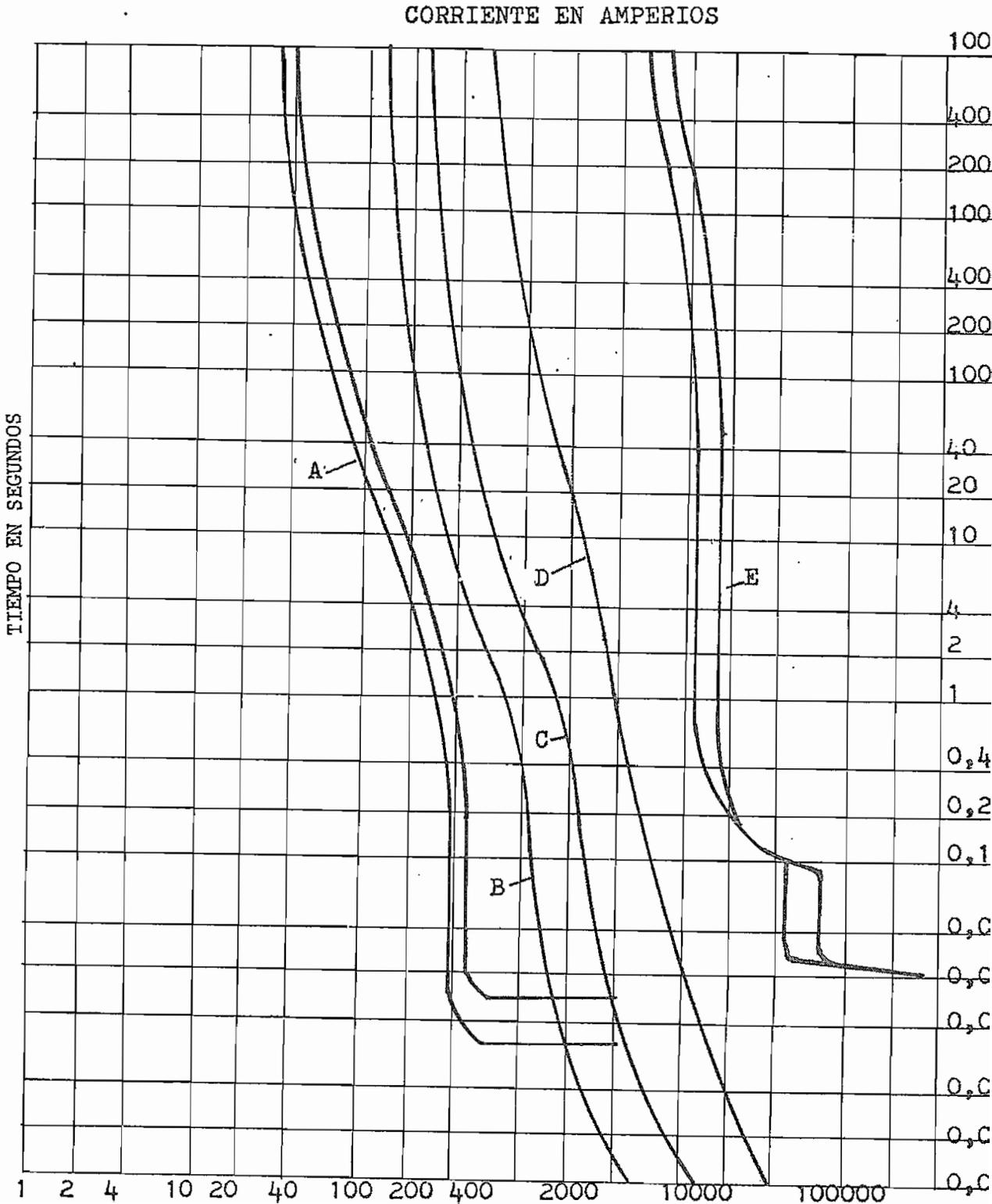


GRAFICO V- 14

Curvas características de todos los elementos de protección utilizados en el diagrama V-11, referidos al lado de 220 V



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las conclusiones y recomendaciones de este trabajo se darán en dos partes. La primera parte abarcará todo lo referente a los capítulos I a IV. En la segunda parte se referirá al ejemplo de aplicación.

VI-1).- PRIMERA PARTE

VI-1.1).- CONCLUSIONES.

- La seguridad del personal y el mantenimiento de una producción de acuerdo a las necesidades y condiciones del mercado e intereses del industrial, son consideraciones básicas que deben ser tomadas en cuenta en el diseño de un sistema industrial.
- La protección de aparatos y equipos de un sistema industrial es necesaria; pero la coordinación técnica de los diferentes elementos de protección del sistema de potencia es indispensable, si se desea que el sistema de protección tenga un rendimiento óptimo, anulando la falla o minimizando sus efectos en el menor tiempo posible y con la menor salida de equipo y de daño al personal.
- El estudio de la coordinación de las protecciones sirve tam--

bién para escoger los elementos de protección apropiados para los diferentes aparatos y equipos.

- Las características principales de fusibles, interruptores y relevadores viene dada por sus curvas características tiempo-corriente que indican que a mayor corriente menor es el tiempo de entrada en operación del elemento de protección.
- Los fusibles actúan directamente contra corto-circuitos y protegen contra sobrecargas; su acción es térmica y son monofásicos.
- Cuando opera un fusible debe ser reemplazado por otro de iguales características para que la calidad de la protección no varíe.
- Los fusibles limitadores de corriente son los más utilizados en sistemas de plantas industriales, debido a que limitan la corriente pico de falla, que en sistemas industriales por ser sistemas a bajo voltaje y que consumen grandes cantidades de energía, son de valor alto.
- El costo de un fusible es bajo, pero su aplicación debe darse por consideraciones técnicas y de servicio.
- La curva característica tiempo-corriente de un fusible varía con el tipo de fusible y tamaño del mismo; en forma general tiene dos tiempos, el tiempo de fusión y el de despeje

- Los interruptores de potencia son de acción electromagnética; brindan protección contra sobrecargas y corto-circuitos; pueden ser controlados a distancia en su disparo y reconexión y se los puede calibrar de acuerdo a la necesidad de protección y coordinación.
- Los interruptores de caja moldeada basan su funcionamiento en el efecto térmico y magnético y brindan protección contra sobrecargas y corto-circuitos; su reconexión es manual; su tamaño es pequeño y de costo razonable.
- Los relevadores son aparatos sensores solamente, por lo que, deben ser usados en conjunto con un interruptor. Su principio de funcionamiento puede ser por atracción electromagnética o por inducción electromagnética.
- Los relevadores de sobrecorriente son los más utilizados en sistemas de plantas industriales; por su acción pueden ser direccionales y no direccionales y responder instantáneamente o con retardo de tiempo.
- Las características principales de un transformador de corriente viene dada por su relación de transformación (5 amperios en el secundario) precisión; polaridad; saturación y tipo de conexión.
- Los transformadores de potencial o voltaje son de tipo con --

vencional y son diseñados de tal forma que el voltaje en el secundario es fijo de acuerdo al sistema donde va a ser utilizado; sus características principales están dadas por la precisión, polaridad y tipo de conexión.

- No es práctico ni económico construir un sistema de potencia a prueba de toda falla, por lo que el estudio de la protección para sus diferentes aparatos y equipos es necesaria para prevenir, minimizar o anular posibles fallas que puedan ser originadas por errores humanos, hechos fortuitos y deterioro de equipo y materiales.
- El tener un diagrama unifilar de todo el sistema de una industria es fundamental para estudios de corto-circuito; flujos de carga; estabilidad y coordinación de protecciones. En este diagrama debe constar, . a) Todas las fuentes de corrientes de corto-circuito, b) Longitud, tipo y capacidad de los conductores, c) Capacidad, impedancia y conexión de los transformadores, d) Identificación de las cargas.
- El método del M .V.A. que es una modificación del método homérico, es recomendable para calcular las corrientes de corto-circuito en sistemas industriales, por la facilidad de su aplicación.
- Para coordinar las protecciones es recomendable tener los valores de corriente de corto-circuito máximo y mínimo.

- La zona de protección de un transformador viene dado por a) Corriente nominal del transformador b).- Punto dado por el NEC c) Punto dado por ANSI d) Corriente de magnetización o de inrush. El elemento de protección escogido para proteger al transformador, debe estar dentro de la zona formada por los cuatro puntos anteriormente anotados.

- La corriente de corto-circuito asimétrica es necesaria para el escogitamiento del conductor adecuado.

- Se realiza coordinación de protecciones cuando; a) Se diseña un nuevo sistema de una planta industrial b) Nuevas cargas son añadidas al sistema o cuando el equipo existente es cambiado por otro nuevo c) Se aumenta la corriente de corto-circuito de la empresa que suministra la energía a la planta industrial d) Se desea anular la falla en el menor tiempo posible y con la menor salida de equipo.

- La coordinación entre fusibles y fusible-interruptor son las más utilizadas en sistemas industriales.

VI-1.2).- RECOMENDACIONES.

- El diseño, construcción y mantenimiento de un sistema industrial debe ser confiado a personal calificado.

- Los cambios en el sistema de fuerza deben ser hechos constar en el respectivo plano, para que se tenga siempre los planos actualizados.

- La E.E.Q. para dar servicio debería poner como condición al futuro cliente; industrias; comercios; edificios .. ect la presentación de plânos del sistema de potencia actualizados y firmados por un Ing. Eléctrico. Además de que los grandes clientes tengan la obligación de presentar en diferentes períodos los planos actualizados de su sistema, si quieren seguir teniendo servicio.
- Para calcular las corrientes de corto-circuito en sistemas industriales se puede despreciar las impedancias de los conductores; esto es aplicable al sector artesanal y pequeña industria y en algunos casos en la grân industria
- Todas las industrias deben tener diagramas unifilares actualizados de sus sistemas de potencia.
- El escogitamiento de los elementos de protección y la protección misma de aparatos y equipos debe darse luego de un estudio técnico y económico y no solo técnico o solo económico.

VI-2).- SEGUNDA PARTE

VI-2.1).- CONCLUSIONES

- Las protecciones originales están bien seleccionadas y existe coordinación adecuada entre ellas
- Las protecciones originales que han sido reemplazadas por algún daño, han sido realizadas en forma no adecuada ya que se

lo a hecho con elementos de protección que no tienen caracte --
rísticas iguales a los originales.

- El transformador que tienen actualmente, está adecuadamente seleccionado y puede soportar el doble de carga actual, siempre y cuando se mantenga como factor de demanda 0,5
- El generador de emergencia actual no puede soportar más incrementos de carga.

VI-2.2).- RECOMENDACIONES.

- Todos los cambios o nuevas instalaciones que se realicen en el sistema a nivel de celda, sub-celda.. ect debe constar en los planos respectivos, por lo que es necesario que cada seis meses o cuando se lo considere necesario se realicen nuevos planos para actualizarlos.
- Se debe realizar una limpieza total del sistema, de tal manera que los motores queden libres de suciedades y sus placas visibles; igual con el generador y transformadores. Los conductores deben ser puestos en bandejas de acuerdo a su importancia, potencia, calibre .. ect además deben ser identificados con cinta adhesiva de diferentes colores; las celdas y sub-celdas deben estar limpias y con identificación que debe ser la de los planos respectivos.
- Los conductores y máquinas de la zona de decapado deben ser

protegidos del ácido sulfúrico por medio de carcasas ã en el caso de los conductores se debe poner otros conductores que garanticen su resistividad al ácido.

- Se debe fijar períodos cortos (3 meses) para realizar la limpieza del sistema; esto se lo puede bien realizar en un sábado o domingo, que la fábrica no labora.

- Debido al gran valor de corriente de corto-circuito fase - tierra es imprescindible que lo más pronto posible se instale la malla de puesta a tierra del sistema.

- Antes de realizar una nueva instalación en una celda o sub - celda es necesario verificar en los planos respectivos si está saturada o permite conectar la carga que se desea.

CONCLUSION FINAL.

- La protección y Coordinación de un sistema industrial es experiencia hecho arte en base a un estudio cuidadoso del sistema a proteger.

REFERENCIAS

- 1.- Recommended practice for electric power distribution for industrial plants. I.E.E.E. Std. 141-1976
- 2.- Recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems. I.E.E.E. Std. 241-1974
- 3.- Industrial power systems handbook. Donal Beeman 1955 M Graw - Hill
- 4.- El arte y la ciencia de la protección por relevadores. Russell Mazon
- 5.- Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales. Enríquez Harper
- 6.- Sistemas de transmisión de energía eléctrica. Robert Eaton
- 7.- Recommended practice for electric power systems in commercial building. I.E.E.E. Std 241-1974
- 8.- Distribution system. Westinghouse electric corporation
- 9.- Recommended practice for grounding industrial and commercial power systems. I.E.E.E. Std 142-1972
- 10.- Los metales y aleaciones y sus aplicaciones eléctricas. 1971 Centro estudiantes de ingeniería" La línea recta"

- 11.- Código eléctrico Ecuatoriano
- 12.- National Electric Code. (NEC)
- 13.- Power system analysis; What It Can Do for Industrial Plants. I.E.E.E. Transactions on Industry and general applications, Vol IGA-7 N.2, March/April 1971
- 14.- A Proposed Publication on system coordination and Protection for Industrial and commercial Power Systems. I.E.E.E. Transaction on Industry and General Application, Vol IGA-1 N. 6 Nov/Dec 1965
- 15.- Coordination of Fused Low-Voltage Distribution system. I.E.E.E. Transaction on Industry and General Application Vol, IGA-3 N.5 Sept/Oct 1967
- 16.- Evidence of Need for Improved Coordination and Protection of Industrial power Systems. I.E.E.E. Transaction on Industry and General Applications Vol, IGA-1 N,6 Nov/Dec 1965
- 17.- Short Circuit ABC-Learn It in an Hour, Use It Anywhere, Memorize No Formula. I.E.E.E. Transaction on Industry Application Vol. IA-10 N.2 March/April 1974
- 18.- Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Willian D. Stevenson 2, Edición 1965
- 19.- Manual de instalaciones eléctricas. Leonardo Guerrero.341

- 20.- Guía para el diseño de instalaciones industriales. Mauro Trujillo N. 373
- 21.- Diseño de un Camal frigorífico para la Ciudad de Ibarra. Fausto Andrade N. 443
- 22.- Estudio y diseño eléctrico del futuro centro cívico y comercial de Quito. Galo Moane N. 438
- 23.- Elementos de protección de sistemas industriales de bajo voltaje. Carlos Yanez N. 404
- 24.- Elección y Coordinación de equipo de protección contra sobrecorrientes. Réne Cañizares N. 80
- 25.- Cálculo y diseño de los sistemas eléctricos para una industria textil. Jaime Franco N. 357
- 26.- Sistema de protección de emergencia. Carlos Velez N. 403
- 27.- Proyecto de normas para iluminación de interiores y equipo de alumbrado. Pedro Silva N. 209
- 28.- Normas para la instalación de Motores y Controles. Angel Castro N. 213.

ANEXO - 1

DIAGRAMA DE BLOQUES Y DIAGRAMAS UNIFILARES DE LA

FABRICA ALAMBREC

DIAGRAMA GENERAL DE BLOQUES Y DIAGRAMAS

UNIFILARES INDIVIDUALES DE CADA

SUB-CELDA DEL SISTEMA ELECTRICO

DE LA FABRICA ALAMBREC

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	TESIS DE GRADO
FABRICA "ALAMBREC"	DISEÑO: PABLO MENA
FACULTAD DE ELECTRICA	

FECHA:

SIMBOLOGÍA

REFERENCIA: NORMAS DEL I N E N

	→	FUSIBLE
	→	PROTECCION TERMICA
	→	INTERRUPTOR SECC. PARA FUNCIONAM. EN CARGA.
	→	MOTOR TRIFASICO DE ALTERNA
	→	MOTOR TRIFASICO DE CONTINUA
	→	TRANSFORMADOR TRIFASICO
	→	INTERRUPTOR [breaker]
	→	TOMACORRIENTE MONOFASICO
	→	TOMACORRIENTE TRIFASICO
	→	LAMPARA DE Hg O REFLECTOR DE Na
	→	LAMPARA FLUORESCENTE
	→	LAMPARA DE EMERGENCIA: 220V
	→	BATERIAS

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

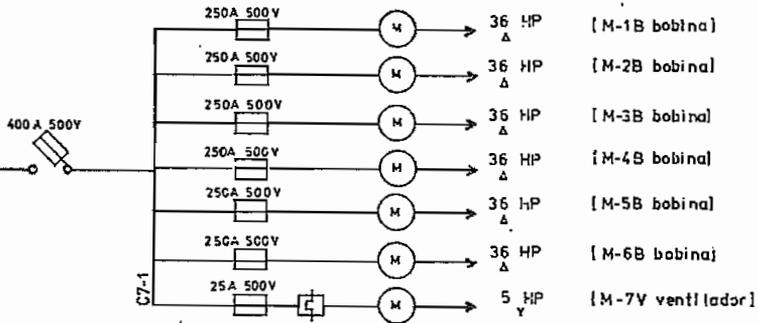
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO. PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBCELDA C7-1

CELDA 7
BARRA PRINCIPAL



1-1
1-2
1-3
1-4
1-5

1-6
1-7
1-8
1-9
1-10

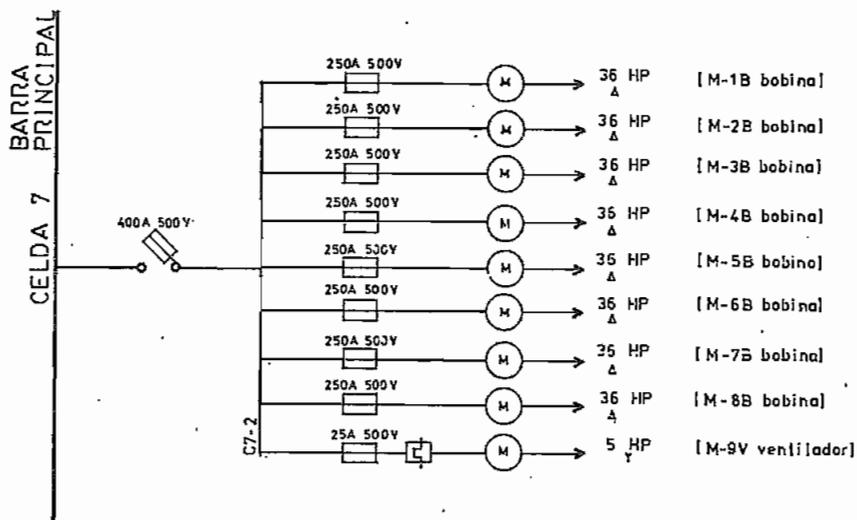
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUB-CELDA C7-2



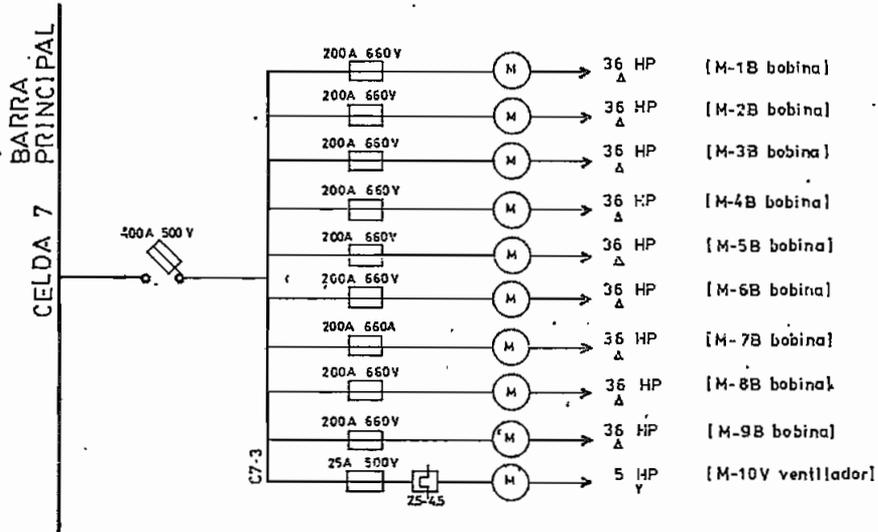
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBCELDA C7-3



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

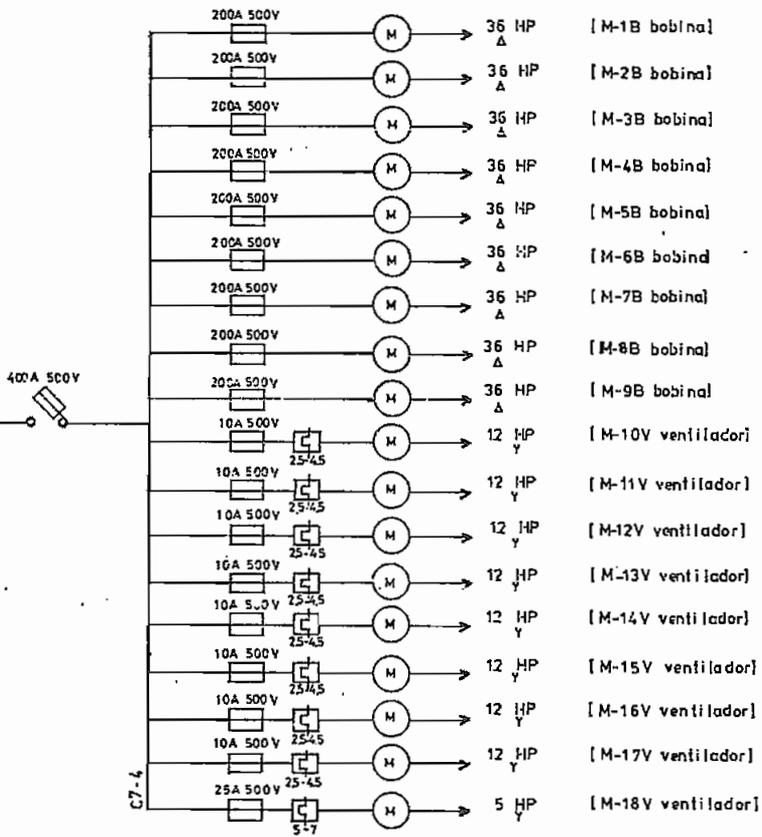
TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBCELDA C7-4

BARRA PRINCIPAL

CELDA 7



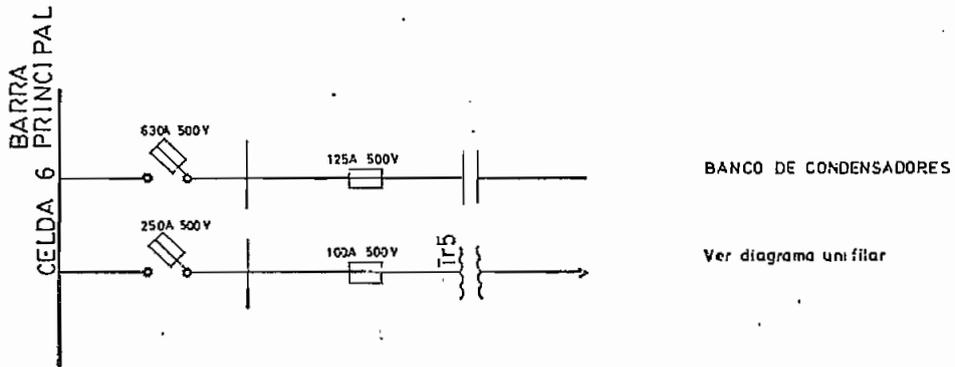
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CELDA 6



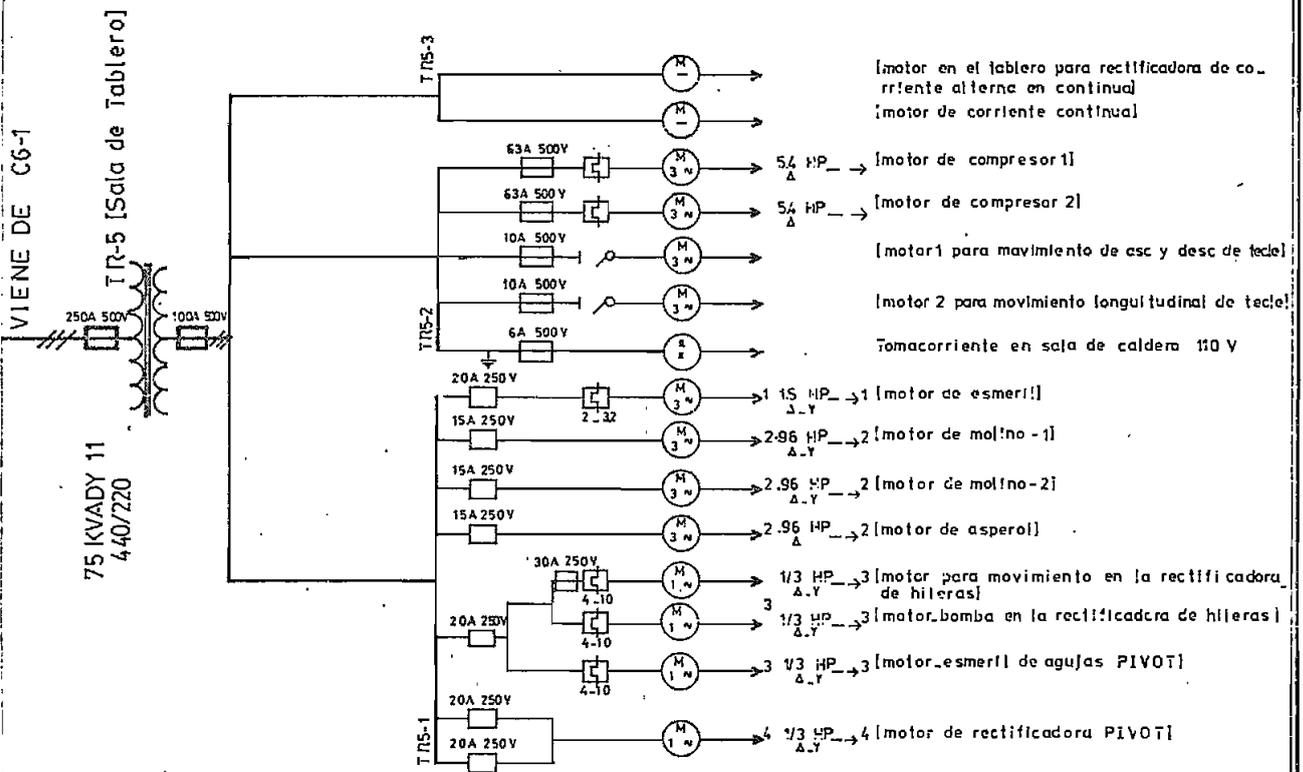
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE TRANSFORMADOR TR-5



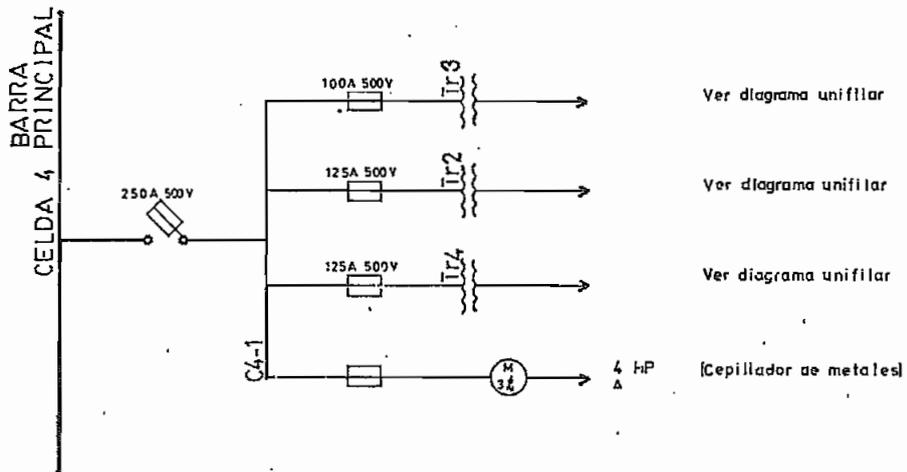
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUB-CELDA C4-1.



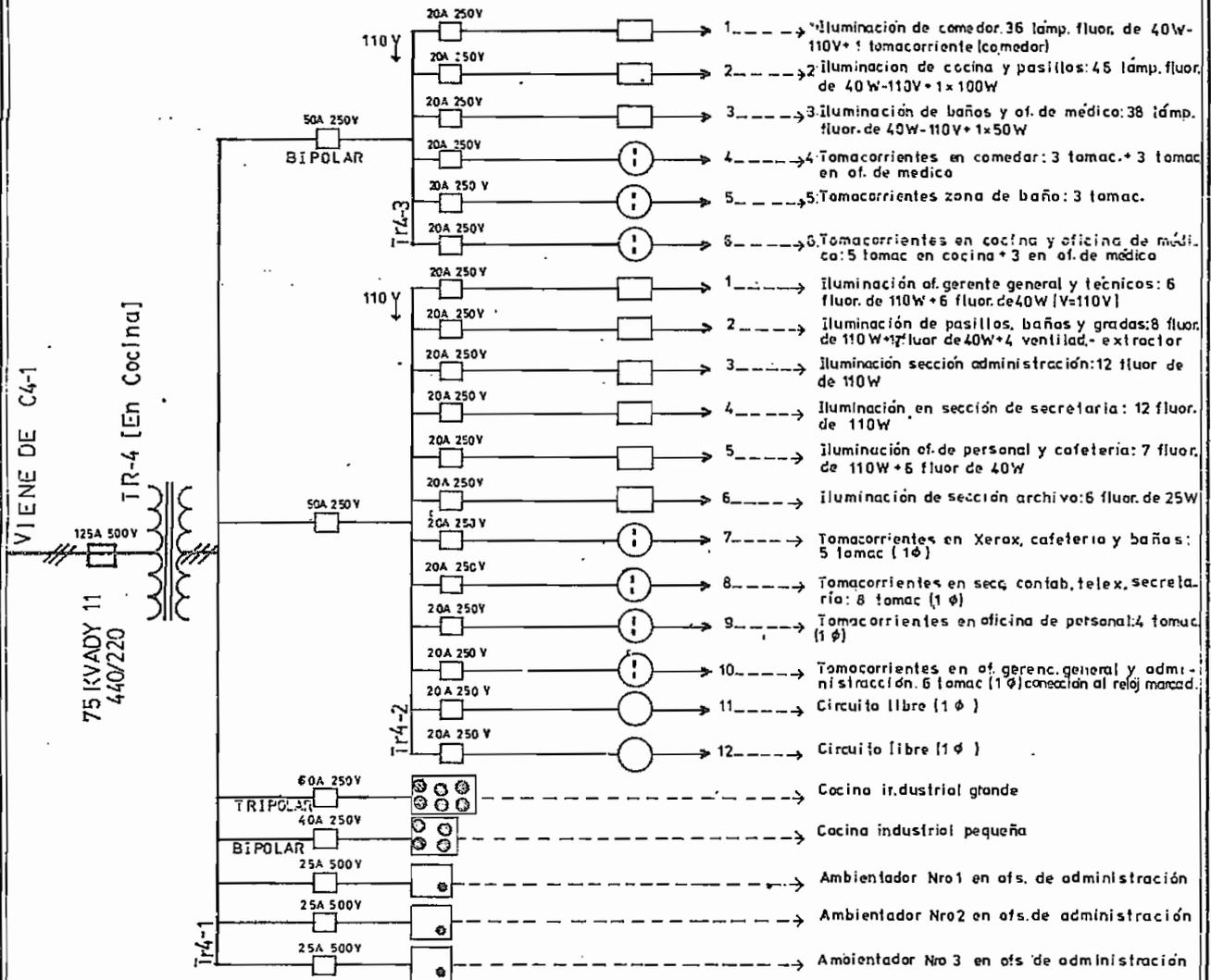
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

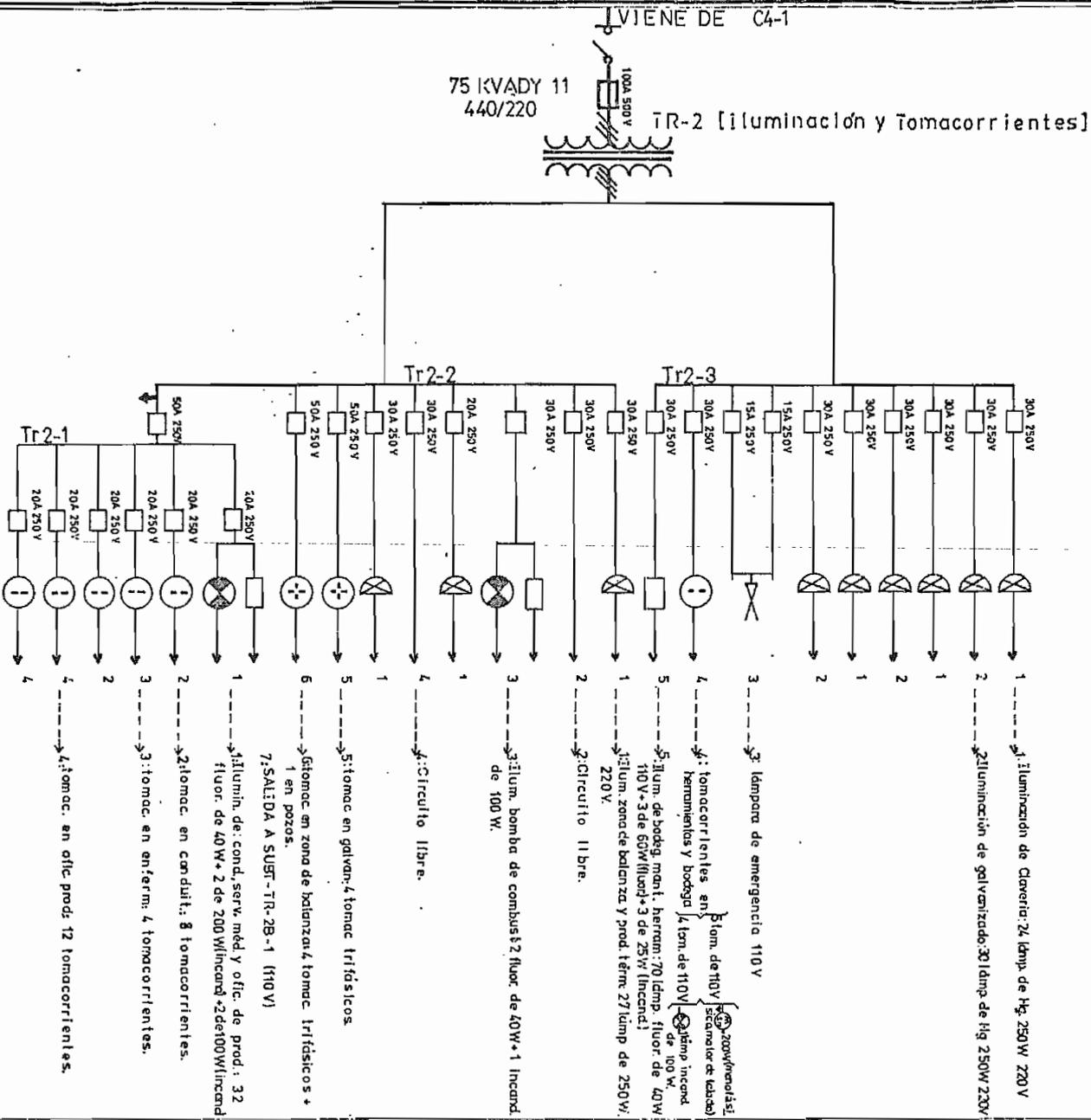
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE TRANSFORMADOR TR-4





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

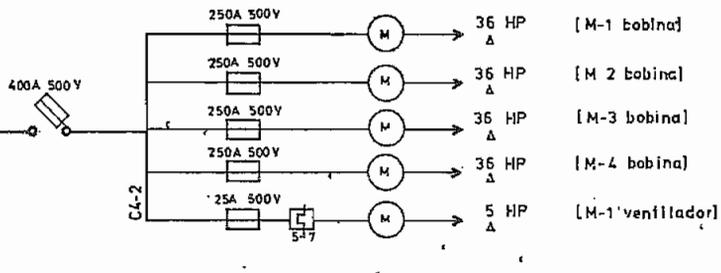
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUB-CELDA C-2

CELDA 4
BARRA PRINCIPAL



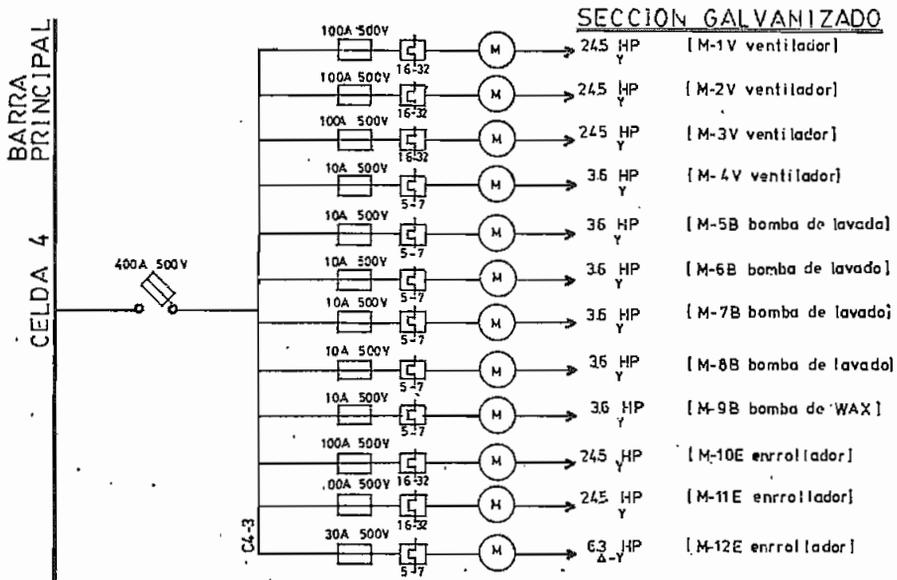
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBCELDA C4-3



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

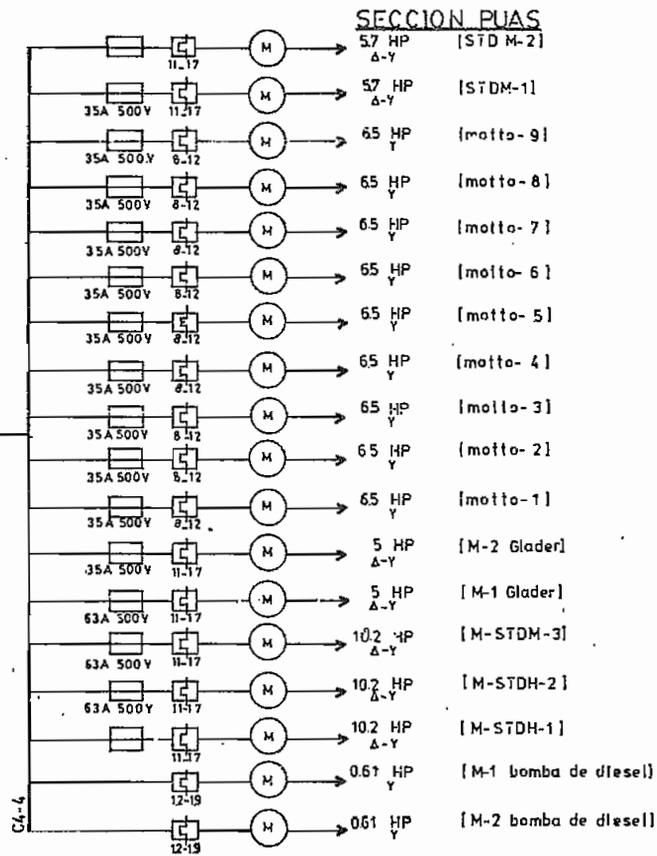
FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUB-CELDA C4-4

BARRA PRINCIPAL

CELDA 4

400A 500V



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

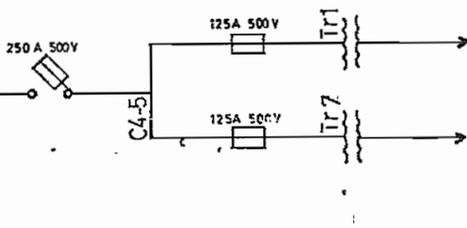
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBCELDA C4-5

BARRA
CELDA 4 PRINCIPAL



Ver diagrama unifilar

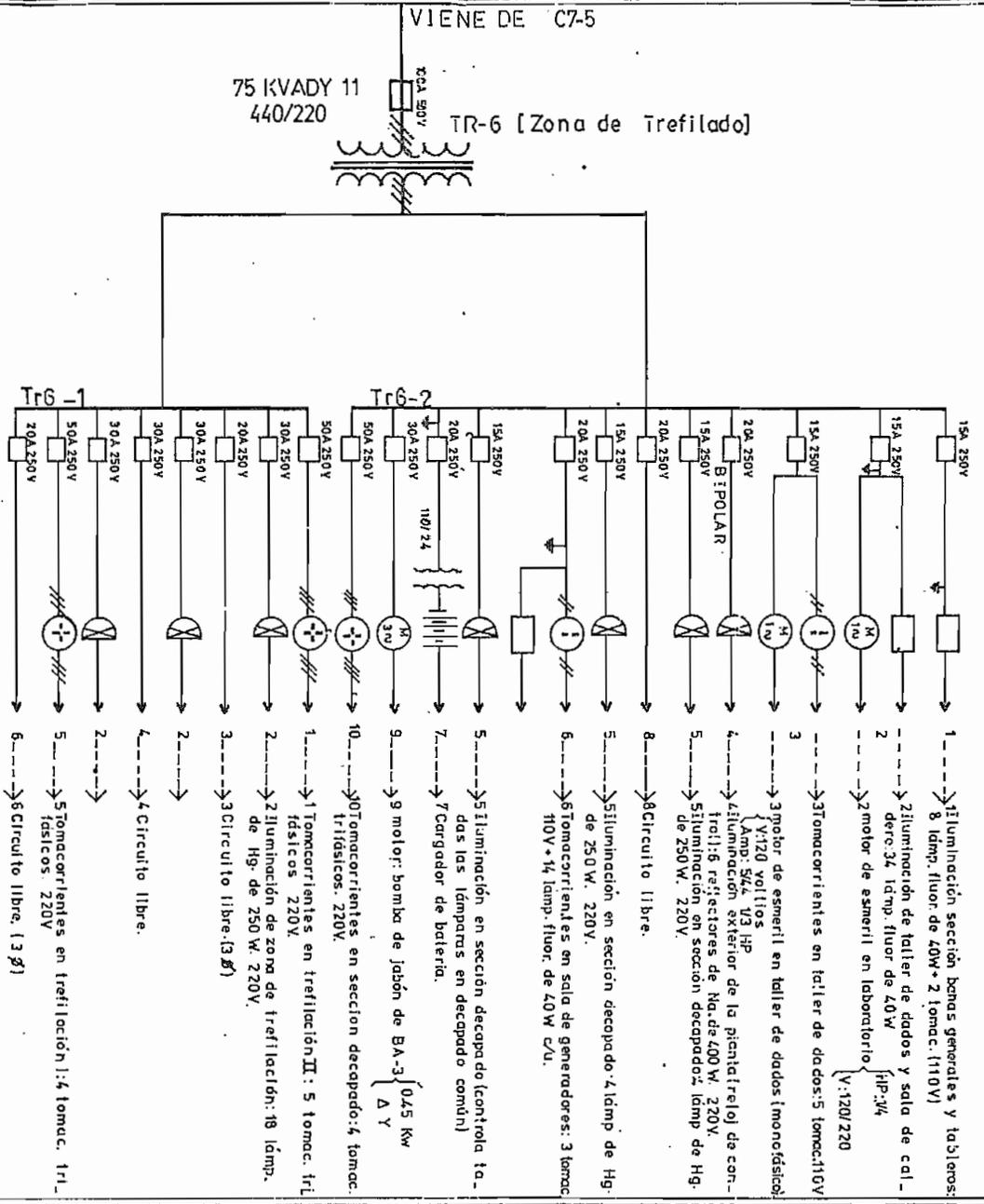
Ver diagrama unifilar

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO. PABLO MENA

FECHA: DIAGRAMA UNIFILAR DE TRANSFORMADOR TR-6



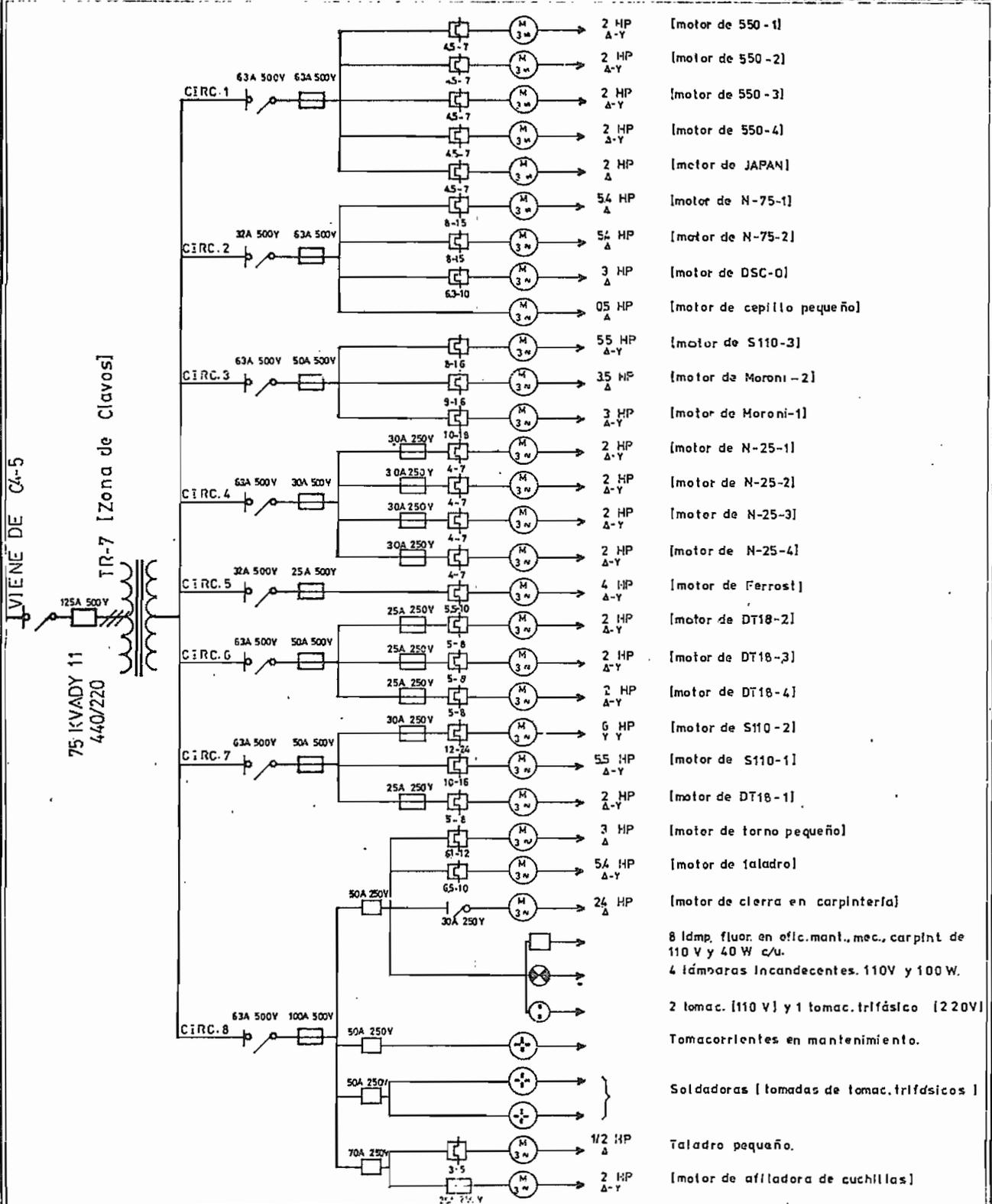
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE TRANSFORMADOR TR-7



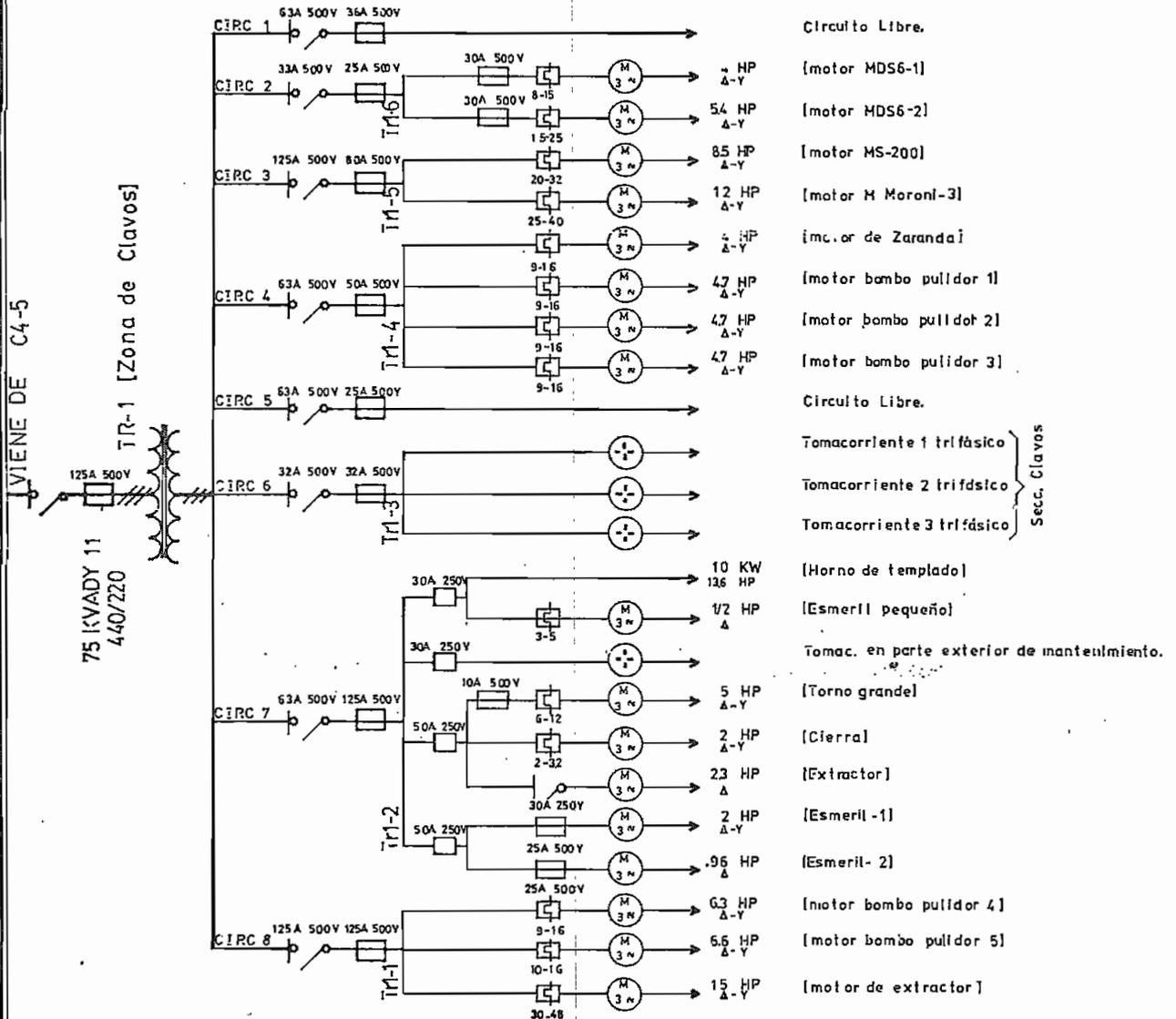
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA

DIAGRAMA UNILAR DE TRANSFORMADOR TR 1



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

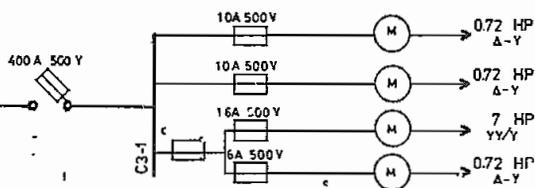
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUB.CELDA C3-1

CELDA 3
BARRA PRINCIPAL



[M-1 movimiento longitudinal]

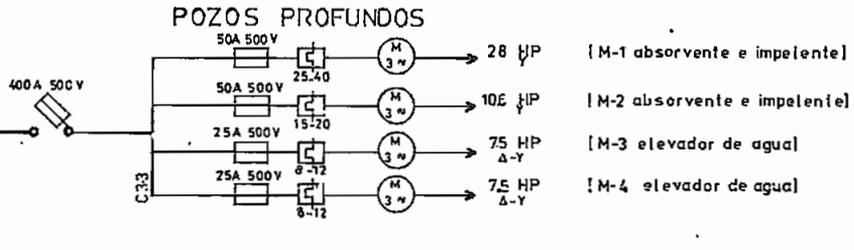
[M-2 movimiento longitudinal]

[M-3 movimiento ascenso y descenso]

[M-4 movimiento transversal]

PUENTE GRUA Nro. 2

CELDA 3
BARRA PRINCIPAL



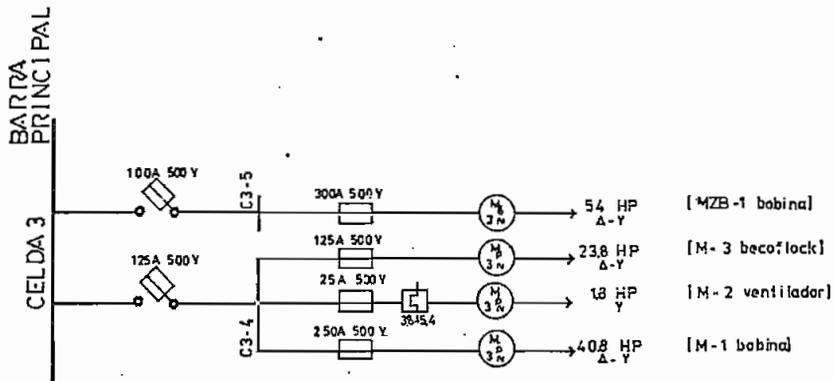
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO: PABLO MENA

FECHA

DIAGRAMAS UNIFILARES DE LAS SUB-CELDA C3-4 Y C3-5



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO PABLO MENA

FECHA:

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CELDA 2

