



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE
EN INSTALACIONES DE BAJO VOLTAJE**

Esteban Mauricio González Baidés
Asesorado por el Ing. Franz Elí Casasola Vargas

Guatemala, mayo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE
EN INSTALACIONES DE BAJO VOLTAJE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ESTEBAN MAURICIO GONZÁLEZ BAIDES

ASESORADO POR ING. FRANZ ELÍ CASASOLA VARGAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. César Augusto Fernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Juan Luis Arias Chupina
EXAMINADOR	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
EXAMINADOR	Ing. David Enrique Aldana Fernández
SECRETARIO	Ing. Manuel de Jesús Castellanos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE
EN INSTALACIONES DE BAJO VOLTAJE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de agosto de 2001.



Esteban Mauricio González Baidés

Guatemala 12 de abril de 2,005

**Ing.
Erwin Segura Castellanos
Coordinador Area Electrotécnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Estimado Ingeniero:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado:
" Diseño de Protección de Sobrecorriente en Instalaciones de Bajo Voltaje "
elaborado por el estudiante Esteban Mauricio González Baidés.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle
que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones
de la misma.

Atentamente,


Ing. Franz Casasola
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala 20 de Abril del 2005

Señor Director
Ing. Enrique E. Ruiz C.
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **"Diseño de Protección de sobrecorriente en instalaciones de bajo voltaje"**; desarrollado por el estudiante, **Esteban Mauricio González Baidés**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta que parece decir "Erwin E. Segura C.".


Ing. Erwin E. Segura C.
Coordinador de Área de Electrotecnia
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante, Esteban Mauricio González Baidés titulado: **Diseño de protección de sobrecorriente en instalaciones de bajo voltaje**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

DIRECTOR



Guatemala, 22 de abril 2005.

Universidad de San Carlos
De Guatemala

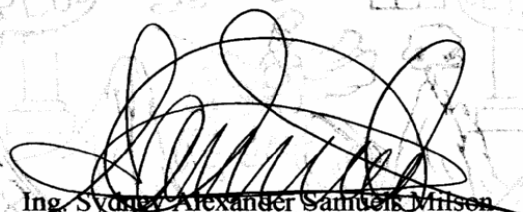


Facultad de Ingeniería
Decanato
Tels. 2476957/9 Exts. 101-102-114
Fax: 24760366

Ref. DTG-149-2005

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE EN INSTALACIONES DE BAJO VOLTAJE**, presentado por el estudiante universitario, **Esteban Mauricio González Baidés**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Sydney Alexander Samuels Wilson
DECANO



Guatemala, mayo de 2005.

/lmcb.

DEDICATORIA A

MI PADRE DIOS

Gracias a su amor, misericordia y providencia, me permitió terminar este trabajo de graduación. Por la intersección de su hijo Jesús y la ayuda del Espíritu Santo, que me iluminaron.

MI MADRE LA SANTISIMA VIRGEN MARÍA

Por acompañarme todos los días, y darme la fortaleza para ser perseverante.

SAN JOSÉ

Castísimo esposo de nuestra madre la Virgen María, por su ayuda y ejemplo en el trabajo, la humildad y la constancia.

MI ANGEL DE LA GUARDIA

Por su ayuda de haber concluído una etapa más en la vida.

MI PAPÁ Y MI MAMÁ

A quienes agradezco eternamente su amor, el esfuerzo que han hecho por mí, muchas gracias.

MIS HERMANAS

Por haberme apoyado.

MI ESPOSA

Por su amor, apoyo, ayuda y ánimo.

MIS HIJOS

Porque ellos son el regalo más bello que me ha dado DIOS.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
OBJETIVOS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI

1. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

1.1	Características físicas del interruptor termomagnético	3
1.2	Caraterísticas de disparo	6
1.2.1	Sobrecorriente	6
1.2.2	Corto circuito	7
1.3	Interruptores termomagnéticos con disparo electrónico	10
1.4	Características especiales de los interruptores termomagnéticos electrónicos	15

2. APLICACION DEL PRINCIPIO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

2.1	Protección no selectiva, protección selectiva	28
2.2	Protección con interruptores con módulo de disparo electrónico	34
2.3	Coordinación de protección con módulos inteligentes	37

3. ESTUDIO PRÁCTICO DE PROTECCIÓN	
3.1 Presentación de una instalación típica.	51
3.2 Diagrama unifilar	53
3.3 Cálculo de las corrientes en el circuito de distribución	55
3.3.1 Selección del conductor	55
3.3.2 Cálculo caída de voltaje	57
3.4 Cálculo de las corrientes de corto circuito	65
3.5 Criterios en la selección de interruptores.	69
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXO	81

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Interruptor termomagético	5
2. Elemento de disparo térmico	6
3. Acción magnética	7
4. Disparo termomagnético	8
5. Unidad de disparo electrónico	12
6. Interruptor con sensor de estado sólido	13
7. Ajuste de corriente normal	17
8. Excitación de largo tiempo	17
9. Temporización larga	18
10. Luz indicadora de excitación de tiempo largo	19
11. Ajuste excitación de tiempo corto	20
12. Temporización corta	21
13. Selector de corto tiempo	22
14. Rampa fija de cortocircuito	22
15. Excitación instantánea	23
16. Excitación instantánea fija	24
17. Curva de disparo	25
18. Coordinación no selectiva	30
19. Coordinación selectiva	32
20. Sistema sin enclavamiento selectivo	41
21. Sistema no selectivo	43
22. Sistema sin enclavamiento selectivo	44
23. Sistema sin enclavamiento selectivo	45
24. Sistema con enclavamiento selectivo	47
25. Sistema con enclavamiento selectivo	47
26. Sistema selectivo	49

27. Sistema con enclavamiento selectivo	50
28. Plano figura 1/3	52
29. Plano figura 2/3	54
30. Plano figura 3/3	75

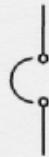
TABLAS

I. Descripción de cargas	54
II. Corrientes	55
III. Selección del conductor	56
IV. Caída de voltaje en cables en paralelo	58
V. Caída de voltaje en todo el sistema	61
VI. impedancia de cables	67
VII. Niveles de corriente de cortocircuito	68
VIII. Sumario de corrientes de falla	70
IX. Factores de corrección	81
X. Caída de voltaje en conductores de cobre	89

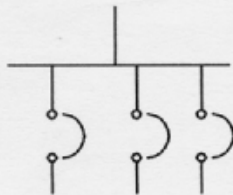
LISTA DE SÍMBOLOS



Transformador



Interruptor termomagnético



Tablero eléctrico



Falla en circuito



Tablero eléctrico



Tubería eléctrica



Tomacorriente $h = 0.30$ m snpt.



Lámpara fluorescente de sobreponer

GLOSARIO

Capacidad interruptiva	Capacidad de interrupción, para interrumpir con éxito la corriente de corto circuito que puede producirse bajo condiciones de cortocircuito.
Cortafuegos	Barrera para impedir en caso de un incendio, la propagación de las llamas.
<i>Ctrench</i>	Zanja.
Deionización	Aumento de resistencia del aire para suprimir el arco eléctrico.
<i>Derating</i>	Degradación, cambio, disminución de características.
Estrés de falla	Deformación, por fuerza mecánica.
<i>Frame size</i>	Tamaño del marco del interruptor. Indica el tamaño en medidas del sistema métrico o decimal. Agrupa por tamaños los rangos de los interruptores de 15 a 100 amperios, las mismas dimensiones. De 125 a 225, de 250 a 400, de 500 a 800.
Plugs	Pines metálicos
R. M. S. de corriente de línea.	La raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de todas las amplitudes de corrientes instantáneas en un ciclo dado.

R. M. S. de voltaje de línea

La raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de todas las amplitudes de voltajes instantáneos en un ciclo dado.

Shunt trip

Disparo por medio de bobina de disparo. Puede ser por medio de una señal a distancia.

Sistema selectivo

Medio de obtener selectividad entre los interruptores de circuitos alimentadores y el principal mediante la incorporación de programadores con características de disparo de tiempo coordinado. Consiste en ajustar el interruptor automático más lejano en el circuito con un pequeño retraso y aumentando poco a poco el retraso de los demás interruptores según se van acercando al dispositivo de protección principal.

Tripped

Disparado. Acción de disparo, del interruptor termomagnético, al colocar la manecilla en la posición de disparo. Posición intermedia de la palanca, indica que se ha producido un disparo.

RESUMEN

Los interruptores termomagnéticos automáticos en caja moldeada son dispositivos de protección de circuitos. Proporcionan la función de protección automática de un circuito, bajo condiciones anormales de sobrecargas mantenidas o de cortocircuito. A diferencia de los fusibles, los interruptores termomagnéticos automáticos tienen la ventaja de que al existir una falla producida en un solo polo de un interruptor multipolar, acciona una barra común de disparo que abre todos los polos simultáneamente, esto evita la posibilidad de alimentación monofásica.

Los interruptores termomagnéticos automáticos en caja moldeada tienen las características de disparo libre, lo que significa que los contactos del interruptor no pueden mantenerse cerrados bajo condiciones de falla. Están diseñados con el fin de proteger a los conductores aislados, en contra de calentamiento excesivo que puede dañar el material aislante del conductor, y al mismo conductor.

Los interruptores automáticos no sólo permiten el paso de corriente, del circuito en todo momento bajo condiciones normales y efectúan el disparo bajo condiciones de sobrecarga, sino que también tienen la capacidad suficiente de interrupción, como para poder interrumpir con éxito la corriente de corto circuito que pueda producirse bajo las condiciones de sobrecorrientes más desfavorables que puedan existir.

Los interruptores se clasifican en tamaños según su rango, lo que comunmente se conoce como *frame size* o tamaño del marco.

Actualmente existe una gran variedad de interruptores termomagnéticos. Varían entre cada fabricante, por lo que se hacen dos grupos según el uso y operación que son en caja moldeada (*Molded Case*) y de potencia o de aire (*Air*

Circuit Breakers – Draw out). En ambos casos los más sofisticados incluyen los módulos de disparo electrónico que los convierte en herramienta muy poderosas dentro de una instalación eléctrica.

OBJETIVOS

Generales

Resaltar la importancia de la capacidad del manejo de corriente de corto circuito de los dispositivos de protección en función de su valor nominal de corriente y de los que tienen graduación de tiempo, especialmente el uso de interruptores de disparo electrónico

Específicos

1. Mostrar la importancia de diseño de protección de sobre corrientes en instalaciones de bajo voltaje.
2. Hacer énfasis en el uso de las características tiempo- corriente de los dispositivos de protección que más comunmente se usan; interruptores termomagnéticos.
3. Resaltar las ventajas y flexibilidad que brindan los interruptores con disparo electrónico.

INTRODUCCIÓN

En las instalaciones de bajo voltaje es necesaria una protección principal en la entrada, para proteger una instalación eléctrica. A partir de ésta se derivan las protecciones secundarias, hasta llegar finalmente a las cargas.

En una instalación eléctrica, es necesario que en el momento en que se dé una falla, dependiendo de su magnitud y el lugar físico en la instalación eléctrica en donde se presente, el o los dispositivos de protección actúen despejando la falla, protegiendo los equipos con seguridad y sin afectar otras partes del sistema, minimizando los daños.

El presente estudio tiene por objeto brindar los criterios para la selección de interruptores termomagnéticos para la protección de una instalación. Por medio de un ejemplo práctico de la aplicación, del uso de interruptores termomagnéticos; se describen primero sus características físicas y principios de operación, en sobrecarga y en corto circuito. Luego se analiza la forma en que pueden interactuar para obtener la protección, selectiva, no selectiva. Finalmente se desarrolla el ejemplo analizando en cada punto cómo operan los interruptores termomagnéticos.

1. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

Los interruptores termomagnéticos automáticos en caja moldeada son dispositivos de protección de circuitos que ejecutan principalmente dos funciones; abrir y cerrar un circuito por medio del accionamiento manual de una palanca e interrupción automática de circuitos, bajo condiciones de sobrecargas mantenidas o de corto circuito.

Los interruptores termomagnéticos automáticos proporcionan la función de; protección automática de un circuito, bajo condiciones anormales de sobrecargas mantenidas o de cortocircuito.

Cuando se abre un interruptor automático para despejar una falla, la palanca se mueve a su posición disparada, (*tripped*), es decir el punto intermedio entre las posiciones de conectado *on*, y desconectado *off*, lo cual indica claramente que el interruptor ha funcionado. Una vez eliminada la causa de la falla el interruptor puede volver a cerrarse moviendo la palanca a la posición *off*, y luego a la posición de conectado *on*.

A diferencia de los fusibles, los interruptores termomagnéticos automáticos tienen la ventaja de que al existir una falla producida en un solo polo de un interruptor multipolar accionan una barra común de disparo que abre todos los polos simultáneamente, esto evita la posibilidad de alimentación monofásica a un circuito de motores trifásicos, como puede ocurrir en el caso de los sistemas de protección por fusibles.

Los interruptores termomagnéticos automáticos en caja moldeada tienen las características de disparo libre, lo que significa que los contactos del interruptor no pueden mantenerse cerrados bajo condiciones de falla. Están diseñados con el fin de proteger a los conductores aislados, en contra de calentamiento excesivo que puede dañar el material aislante del conductor y al mismo conductor.

Los interruptores automáticos no solo deben permitir el paso de corriente del circuito en todo momento bajo condiciones normales y efectuar el disparo bajo condiciones de sobrecarga, sino también deberán tener la capacidad suficiente de interrupción, para poder interrumpir con éxito la corriente de corto circuito que pueda producirse bajo las condiciones de sobrecorrientes más desfavorables.

Los interruptores se clasifican en tamaños según su rango, lo que comúnmente se conoce como *frame size* o tamaño del marco. Se define como un grupo de interruptores del mismo tamaño y configuración física, en donde el *frame* o tamaño del marco está expresado en amperios y corresponde al de mayor rango en amperios de dicho grupo.

Actualmente el rango de interruptores termomagnéticos es muy grande y variado, ya que varían entre cada fabricante, por lo que se hacen dos grupos dependiendo del uso y operación: en caja moldeada (*molded case*) y de potencia o de aire (*air circuit breakers – draw out*).

1.1 Características físicas del interruptor termomagnético

Los interruptores de capacidad interruptiva normal ofrecen una protección completa en circuitos de bajo voltaje. Son los más usados o comunes y se adaptan a la mayoría de los sistemas de distribución permitiendo conectar y desconectar circuitos con carga. Los interruptores termomagnéticos están integrados por tres componentes básicos: los elementos de disparo, el mecanismo de operación, y los supresores de arco. La función del elemento de disparo es la de accionar el mecanismo de operación en caso de una sobrecorriente prolongada o un cortocircuito (fig.1). Para efectuar esta operación se ha previsto de una acción térmica y magnética combinada.

Sus características constructivas son:

- A. Tamaño del marco del interruptor termomagnético.
- B. Caja moldeada: que combina la resistencia de la caja contra los golpes., con una buena rigidez dieléctrica, características que dan una caja robusta, que protege el mecanismo de operación en su interior.
- C. Manecilla de operación: la indicación de disparado se muestra cuando la manecilla esta entre la posición *on* (cerrado) y *off* (abierto). El interruptor es re-cerrado, llevando la manecilla a la posición *off* y luego a la posición *on*.
- D. Mecanismo de disparo libre: opera independientemente de la manecilla de operación, disparando el interruptor cuando ocurre un corto circuito o una sobrecarga.

- E. Unidad magnética de disparo ajustable: en la parte frontal, proporciona disparo instantáneo en casos de cortocircuito. Cualquier sobrecorriente de magnitud superior a la del ajuste de disparo produce un campo magnético que acciona instantáneamente el mecanismo de disparo y abre el circuito.

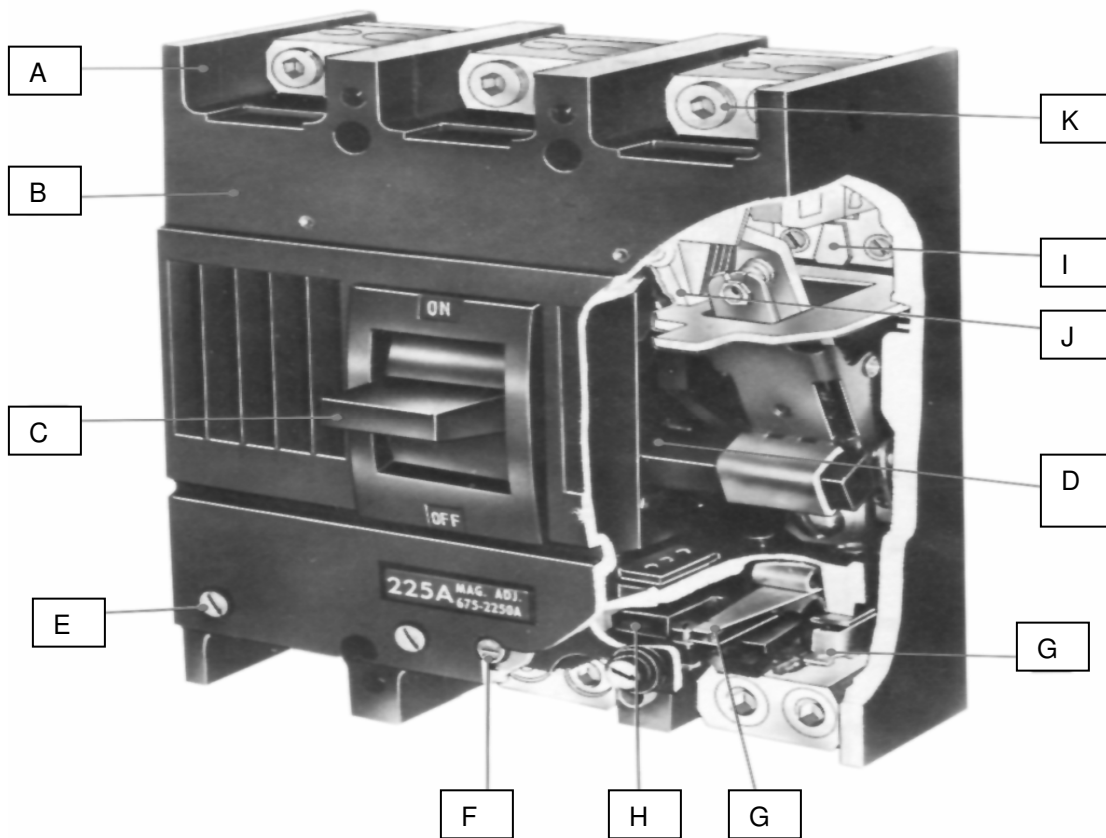
- F. Comprobador de disparo: simula mecánicamente el disparo por sobrecorriente y acciona un tren de palancas que no entran en funcionamiento con la palanca de *on – off*.

- G. Elemento de disparo termomagnético: proporciona protección instantánea de cortocircuito y protección contra sobrecargas prolongadas. El elemento bimetálico reacciona con respecto al tiempo en proporción inversa a la corriente, relación inversa de tiempo. La unidad de disparo actúa sobre el mecanismo de disparo en sobrecorrientes, abriendo el circuito.

- H. Barra común de disparo: en interruptores multipolares abren simultáneamente los polos cuando ocurre una sobrecorriente en cualquiera de las fases.

- I. Contactos de aleación de plata: mejoran la conductividad, tienen larga vida útil, bajas temperaturas de operación y minimizan el picado y arqueo entre los contactos.

Figura 1. Interruptor termomagnético



J. Corta arcos: utilizan el principio de deionización para extinguir el arco dentro del primer medio ciclo. Consiste en una serie de placas montadas en soportes de material aislante. Las placas de acero rodean los contactos móviles y estacionarios. El arco es elongado dentro de las placas de acero, es seccionado, enfriado y por último extinguido.

K. Terminales para cable de cobre o aluminio.

1.2 Características de disparo

1.2.1 Sobrecorriente

El disparo de un interruptor por sobrecorriente se debe a la acción térmica. Este accionamiento se obtiene con un elemento que responde a la corriente de sobrecarga. El elemento térmico se fabrica con dos o más metales diferentes soldados entre sí, a uno de los cuales no afecta apreciablemente los cambios de temperatura, mientras que los demás se expanden rápidamente por efectos del cambio de temperatura (fig. 2). Lo anterior produce una deformación del conjunto. En sobrecargas mantenidas este elemento se flexiona, haciendo que el mecanismo de operación se dispare, abriendo los contactos. El elemento térmico reacciona por el calor generado por el paso de corriente, por lo que el tiempo en que opera es prolongado en sobrecargas moderadas y corto en sobrecargas altas.

Figura 2. Elemento disparo térmico

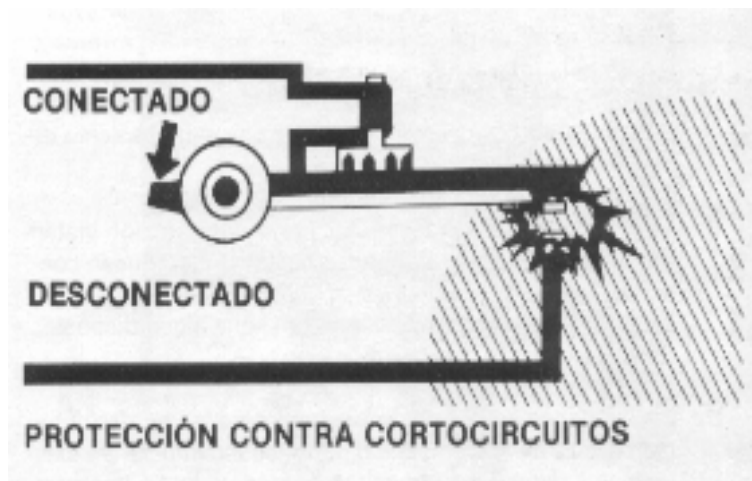


El disparo térmico actúa en corrientes de sobrecarga. Para corrientes de cortocircuito la acción térmica es muy lenta.

1.2.2 Corto circuito

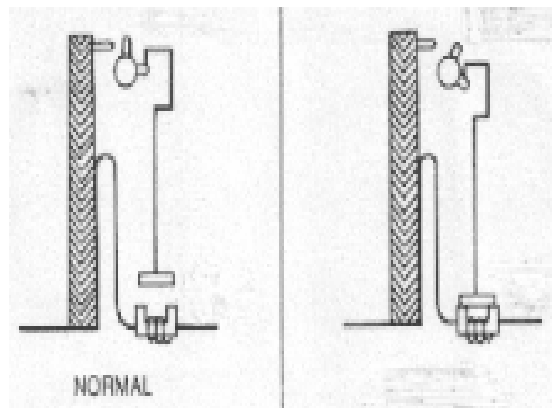
La acción magnética es de respuesta instantánea, se obtiene mediante el uso de un electroimán por el que pasa la corriente de carga. Esta acción proporciona un disparo instantáneo cuando la corriente alcanza un valor determinado (fig 3). La corriente elevada crea un potente campo magnético que atrae la armadura y suelta el pestillo de disparo de la misma forma que lo hace el elemento bimetalico bajo condiciones de sobrecarga.

Figura 3 Acción magnética



Por último la acción termo-magnética combina las características de la acción térmica y magnética, ya que proporciona una protección instantánea en cortocircuitos y protección con un retardo de tiempo para sobrecargas. Esta combinación es la más apropiada para la mayoría de aplicaciones. (fig 4)

Figura 4. Disparo termomagnético



La disipación del arco se da luego del instante en que se separan los contactos y se establece un arco. El movimiento rápido de los contactos alargan el arco, moviéndose éste por fuerzas térmicas y magnéticas dentro del exintor de arco. Los exintores de arco consisten de una serie de placas de acero montadas paralelamente en un soporte fabricado de material aislante. Estas placas rodean a los contactos de manera que al separarse halan el arco segmentándolo y lo enfrían hasta su extinción. Este principio de deionización se aplica a todos los interruptores de caja moldeada.

La interrupción del arco genera gases ionizados calientes, los cuales deben ventilarse de los interruptores sin daños a los equipos e interruptores vecinos, por lo que para evitar la posibilidad de flameos entre polos, en el interior de los interruptores se ha previsto barreras separadoras entre dichos polos. Los interruptores multipolares tienen elementos de disparo en cada polo y una barra aislante de disparo común, las cuales abren cualquiera de las fases, evitando la posibilidad de monofaseo.

Al especificar interruptores se hace referencia a su *frame size* o tamaño de marco indicando lo siguiente: rango en amperios, voltaje, capacidad interruptiva en Kiloamperios, si tiene unidad de disparo intercambiable y para los de rango mayor; si son termomagnéticos, de estado sólido o de potencia (aire). En la categoría de rango normal, los interruptores se fabrican para uno, dos y tres polos, desde 15 amperios hasta 100 amp. y de 125 amp. hasta 225 amp. Dentro de este rango ninguno tiene el mecanismo de disparo intercambiable, y solamente algunos de los de mayor rango de este grupo (225 amp.) y de alta capacidad interruptiva, poseen ajuste del disparo instantáneo magnético.

Los interruptores de un polo son para voltajes de 120/240 V. Los de dos y tres polos pueden ser para 240 V. 480V. y 600 V. La capacidad de interrupción de corriente varía desde los 10,000 amperios como mínimo hasta 65,000 amperios para los de alta capacidad.

Los elementos de disparo de sobrecarga térmica no son ajustables pero el disparo instantáneo magnético puede ajustarse desde aproximadamente 5 veces menos, hasta unas 10 veces más rápido tomando como referencia el rango de disparo nominal. Un elemento de disparo no intercambiable significa que el rango de tiempo en que debe dispararse, es calibrado en la fábrica.

La unidad de los de disparo intercambiable, puede sustituirse por otra, siempre que este dentro de su rango continuo, por ejemplo, si el rango es de 600 a 1,200 amperios, el disparo puede ser de 600 amperios, 700, 800, o bien 1,000 ó 1,200 amperios.

1.3 Interruptores termomagnéticos con disparo electrónico

El uso de interruptores se ha ido extendiendo cada vez más, así como los rangos en amperios. Asimismo cuando las dimensiones son mayores por el rango de corriente a manejar, son muy voluminosos y poco prácticos los mecanismos de disparo termomagnético.

Los disparos de estado sólido son mucho más compactos. Constan de dos elementos: sensor de corriente y disparo de transferencia de flujo en paralelo. Los interruptores de estado sólido usan sensores que responden a la corriente dando una señal al disparador, proporcional a la magnitud de la corriente.

Estos sensores son similares a los transformadores de corriente estándar excepto que no tienen un tipo de relación directa; es decir, una relación específica. Los sensores usados con disparos de estado sólido tienen una salida secundaria, que es idéntica al sensor de la unidad de disparo, pero sin una relación específica de corriente, por lo que la unidad de disparo sentirá la corriente primaria.

Debe haber un sensor para cada polo, usualmente están montados dentro de la caja en el lado de línea.

El disparador de transferencia de flujo en derivación, usualmente opera cuando un dispositivo activador botón de presión, relé, etc., cierra el circuito conectando éste a una fuente de energía que energiza el solenoide de disparo. Esta energía puede obtenerse del lado de línea del interruptor u otra fuente externa.

Para disparos bajo fallas, es deseable tener una fuente, o estar independiente de cualquier fuente de energía externa, y bajo condiciones severas de falla, es posible que el voltaje de línea al interruptor sea muy bajo para operar el solenoide.

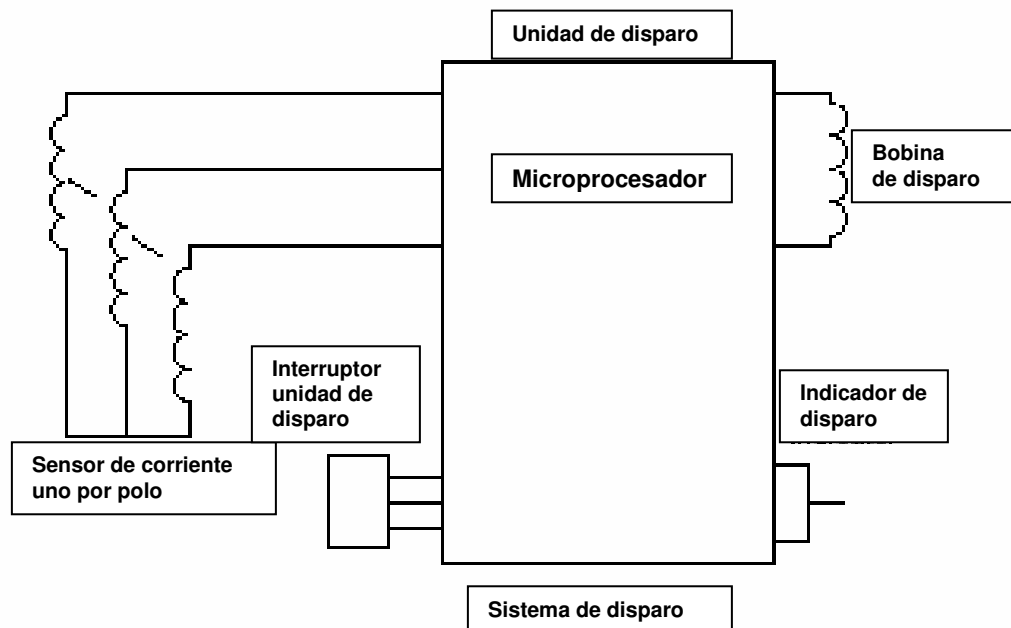
La energía de los interruptores necesaria para estos sensores, no será suficiente para activar el solenoide de disparo. Por esta razón se desarrollaron los dispositivos de transferencia de flujo en derivación (paralelo).

Este dispositivo tiene un solenoide con un émbolo sostenido en su lugar por un imán permanente. La salida de los sensores están conectados a través de los contactos del relé del disparador de estado sólido a un embobinado del imán permanente.

El circuito magnético está diseñado para que cuando la corriente de salida del sensor circule por éste embobinado, modifique el campo magnético, provocando la liberación del émbolo y éste, activado por un resorte, golpea el seguro del disparador y abre el interruptor. De ésta forma, el sensor de baja potencia, puede accionar el interruptor sin necesidad de una fuente externa.

El sistema de disparo provoca que el interruptor termomagnético se abra automáticamente, bajo sobre carga, corto circuito, o falla a tierra. En la figura 5, se muestra el esquema del disparo, que consiste en el sensor de corriente, la unidad de disparo conteniendo el microprocesador y la bobina de disparo. La bobina de disparo es un solenoide de flujo el cual no requiere una fuente externa.

Figura 5. Unidad de disparo



Los disparos de estado sólido en interruptores de caja moldeada, están disponibles en varios niveles de complejidad de ajustes y características. Los más simples solo reemplazan el dispositivo termomagnético, con sensores de disparo en paralelo y un relé sencillo. (figura 6)

Figura 6. Interruptor con disparo de estado sólido



Éste provee una respuesta de sobrecorriente, inversa respecto al tiempo, y una reacción instantánea de cortocircuito. A medida que la unidad de disparo es más sofisticada, más características pueden agregarse a las características básicas: temporización larga, temporización corta, ajuste de corriente, etc.

El ajuste de temporización de corto tiempo, se utiliza en combinación con el ajuste de excitación de corto tiempo, para proporcionar mayor refinamiento a la coordinación entre interruptores automáticos.

Este ajuste establece el intervalo de tiempo que el interruptor dejará pasar, antes de responder a la corriente de corto circuito, elegida en el ajuste del punto de disparo de corto-tiempo.

Sin embargo, todas las unidades de disparo de estado sólido usadas en interruptores de caja moldeada, pueden supeditar el intervalo de temporización de corto tiempo, si la corriente de falla sobrepasa la corriente elegida el máximo rango de corto-tiempo del interruptor.-

Además de las funciones de disparo, algunas unidades tienen mecanismos de presión o algún dispositivo para prueba externa, que permiten probar algunas o todas las funciones de la unidad de disparo. Las unidades más avanzadas tienen diodos emisores de luz, que indican la causa de cualquier disparo, aunque sea resultado de sobre carga, cortocircuito, o falla a tierra. Las unidades de estado sólido van desde las más simples de temporización larga y ajuste de corriente para disparo instantáneo, hasta las más sofisticadas con algunas o todas las características siguientes:

- Rango en amperios (excitación), temporización larga (normal). Ajuste de excitación de corta duración.
- Intervalo de temporización corta.
- Excitación de disparo instantáneo, excitación de falla a tierra.
- Temporización para fallas a tierra

❖ Otras funciones:

- Enclavamiento selectivo por zonas: corto circuito a tierra corto tiempo
- Señales de indicación de disparo

1.4 Características especiales de los interruptores termomagnéticos

Son dispositivos de disparo que incluyen modernos adelantos en tecnología en protección contra sobrecorrientes para mayor seguridad de funcionamiento, adaptación y duración.

El funcionamiento es totalmente automático y por lo general no se requieren señales externas de control o de lógica. Generalmente, las unidades cuentan con un programador de protección, el dispositivo de disparo por desviación de flujo y un conjunto detector de la corriente.

El programador de protección: es una unidad de lógica autoalimentada, con botones de ajuste giratorios para varias funciones así como indicadores luminosos para la indicación mecánica de los disparos.

El dispositivo de disparo por desviación de flujo: es un dispositivo de disparo de acción positiva y de bajo nivel de energía de alimentación y controlado automáticamente por el programador de protección.

Conjunto detector de corriente: los detectores trifásicos de corriente se incluyen en un conjunto intercambiable con el objeto que proporcionar adaptabilidad y seguridad de funcionamiento.

El dispositivo para el ajuste de corriente del programador se suministra con un margen normal de ajuste del 50 al 100 por ciento.

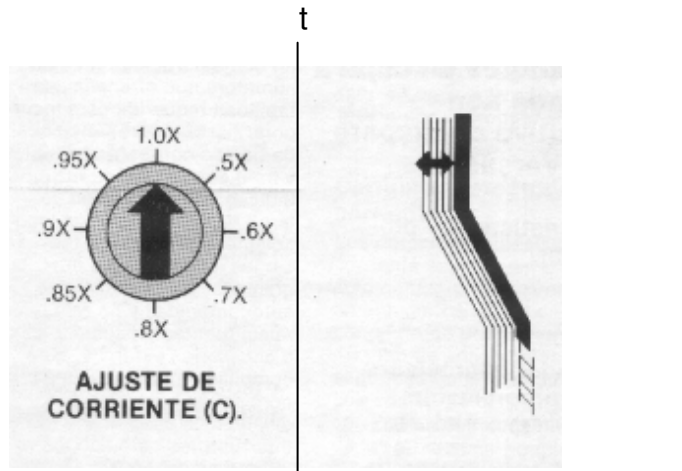
El punto de excitación de largo tiempo del programador viene ajustado de fábrica a 1.1 veces el ajuste de la corriente.

Los detectores de corriente de relación fija, intercambiables en el lugar de la instalación que ofrecen ajustes fijos de corriente, pueden obtenerse normalmente hasta para el tamaño mayor del interruptor.

Sus características son ajuste de corriente normal; el ajuste regulable de corriente cambia el valor de la corriente que el interruptor admite en régimen continuo sin disparar, cuando la excitación de largo tiempo se ajusta a 1.1C. Tiene ocho posiciones para ajustar la capacidad de corriente entre el 50% y el 100% de la capacidad nominal del detector. (fig. 7)

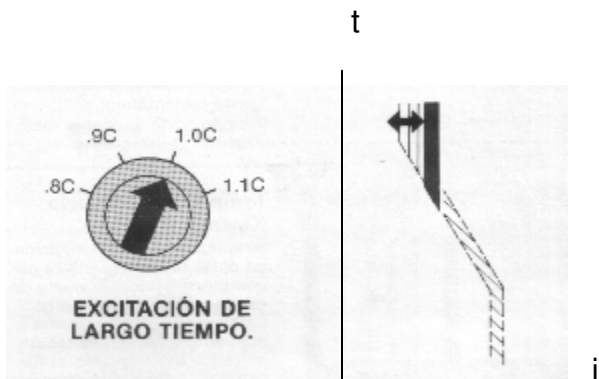
Este ajuste produce el mismo efecto que si se cambiara la unidad de disparo en un interruptor automático con unidad de disparo intercambiable.

Figura 7 Ajuste de corriente normal



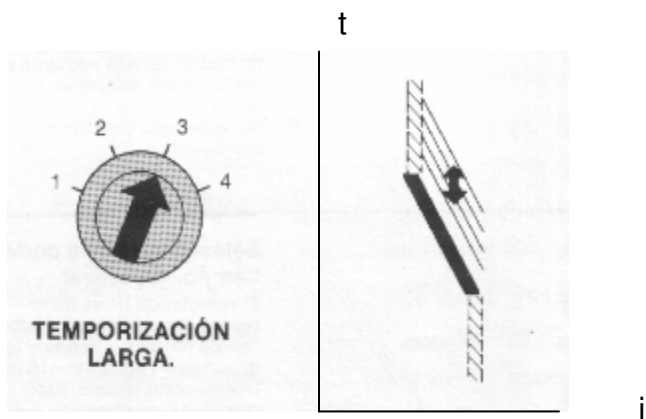
El ajuste de excitación de largo tiempo (Fig. 8) permite efectuar ajustes finos de la corriente del interruptor. Este nivel de excitación es ajustable en cuatro pasos de 80% a 110% del ajuste de la corriente. El cambio de este ajuste no afecta ninguna otra parte de la curva de tiempo-corriente.

Figura 8 Excitación de largo tiempo



El ajuste de temporización de largo tiempo varía el tiempo que tarda el interruptor para disparar bajo condiciones de sobre carga mantenidas. Este ajuste proporciona la función de poder soportar sobrecargas instantáneas tales como las sobrecorrientes debidas al arranque de motores, operaciones de soldadura y otras condiciones similares sin interrumpir el servicio. Fig. 9

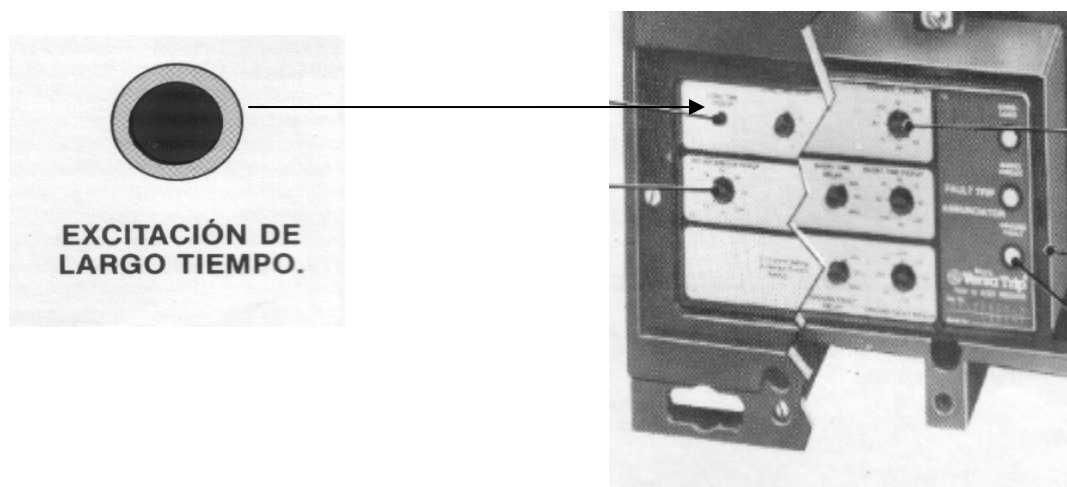
Figura 9. Ajuste largo tiempo



La luz indicadora de excitación de tiempo largo (fig. 10) proporciona una indicación visual de que el interruptor se encuentra funcionando bajo condiciones de sobrecarga. La luz proviene de un diodo emisor de luz *led* que sólo se activa antes del disparo y durante la temporización larga.

Esta luz ahorra tiempo durante la puesta en marcha del sistema y para las comprobaciones del mismo. Puede obtenerse para indicación local solamente o para indicación local y a distancia.

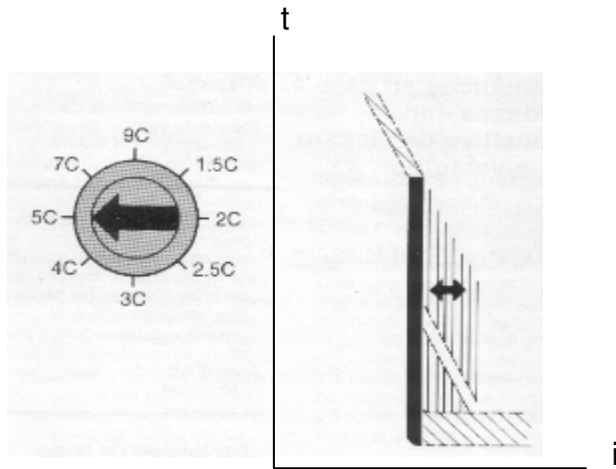
Figura 10 Luz indicadora excitación de tiempo largo



El ajuste de excitación de tiempo corto controla el valor de la corriente elevada que el interruptor admite durante cortos períodos de tiempo sin producir el disparo.

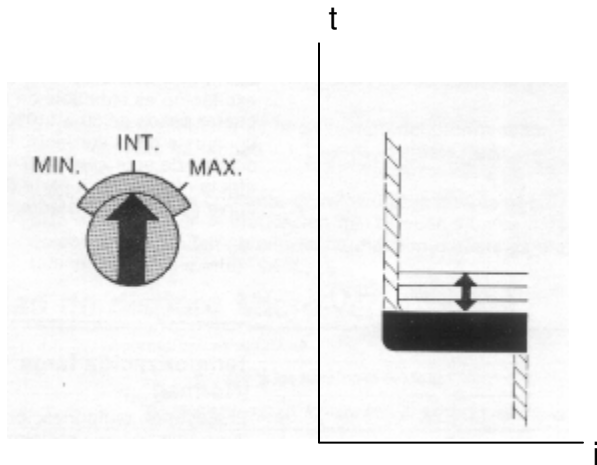
Este ajuste permite que los interruptores ubicados más cerca de la carga puedan despejar los cortocircuitos sin disparar los dispositivos de protección ubicados más cerca de la fuente.

Figura 11. Ajuste excitación tiempo corto



El ajuste de la temporización de corto tiempo se utiliza en combinación con el ajuste de excitación de corto tiempo para proporcionar mayor refinamiento de la coordinación entre los interruptores automáticos. Este ajuste establece el intervalo de tiempo que el interruptor dejará pasar antes de responder a la corriente de cortocircuito elegida en el ajuste del punto de disparo de corto tiempo.

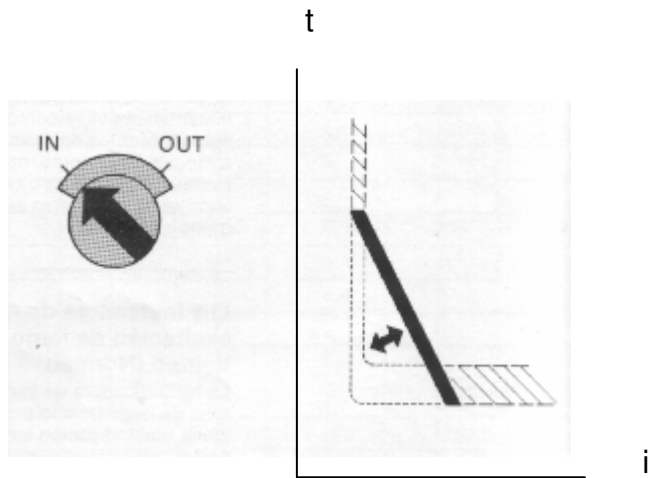
Figura 12. Temporización corta



El selector de $I^2 t$ de corto tiempo proporciona la posibilidad de introducir una función de rampa $I^2 t$ en la característica de corto tiempo. Esto permite la coordinación con los dispositivos ubicados más cerca de la carga tales como interruptores termomagnéticos y fusibles, cuyas curvas de tiempo-corriente no se relacionan fácilmente con las características de detección de forma cuadrada comunes en los dispositivos de disparo electrónicos.

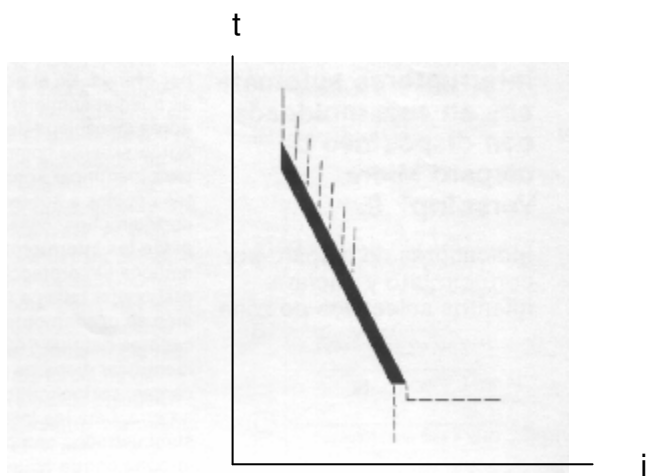
La curva $I^2 t$ está diseñada para resistir un nivel de corriente de 12X durante 0.1 segundo, que es el nivel de corriente de magnetización para transformadores y motores.

Figura 13. Selector $I^2 t$



La rampa fija de $I^2 t$ de corto tiempo junto con la excitación ajustable de corto tiempo y la excitación instantánea fija, simplifica la complejidad de la unidad de corto tiempo que puede utilizarse para mejorar la selectividad y protección del dispositivo en unidades de sufixo N de largo tiempo instantáneas.

Figura 14. Rampa fija de $I^2 t$

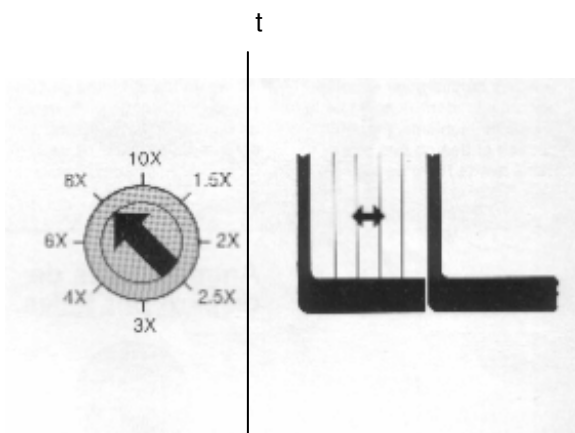


La característica de $I^2 t$, provee una función de rampa o pendiente, constante en la temporización. Permite la máxima coordinación con los interruptores termomagnéticos corriente abajo que siguen una curva en lugar de un camino recto o cuadrado. Esta función permite una mejor protección de motores permitiendo la corriente pico de arranque mientras que la excitación de corta duración permanece ligeramente más alta que el estado estable de la corriente de arranque. En otras palabras, se sigue el camino de la hipotenusa en lugar del ángulo recto.

En la excitación instantánea ajustable normal, el punto de disparo instantáneo determina el nivel de corriente al que se disparará el interruptor sin retraso de tiempo intencional (0.025 segundos o menos) .

Esta interrupción inmediata se produce solamente como resultado de condiciones de sobrecorrientes elevadas y de ésta forma reduce al mínimo los posibles daños al equipo y al sistema eléctrico. Figura 15

Figura 15 Excitación instantánea



La excitación instantánea fija se suministra con los programadores provistos de unidades de corto tiempo del tipo D ó N y viene ajustada de fábrica a 15 veces la corriente nominal del detector (X).

Figura. 16 Excitación instantánea fija.

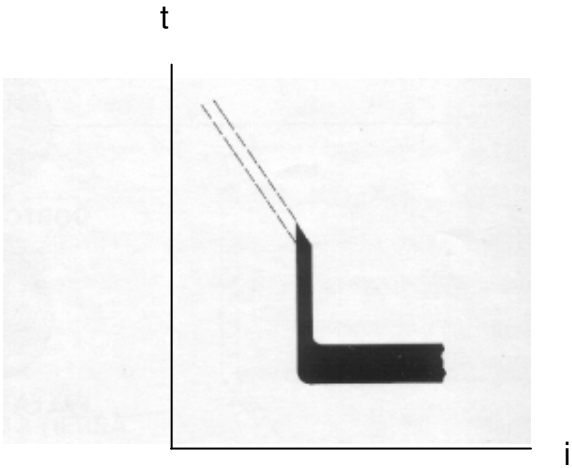
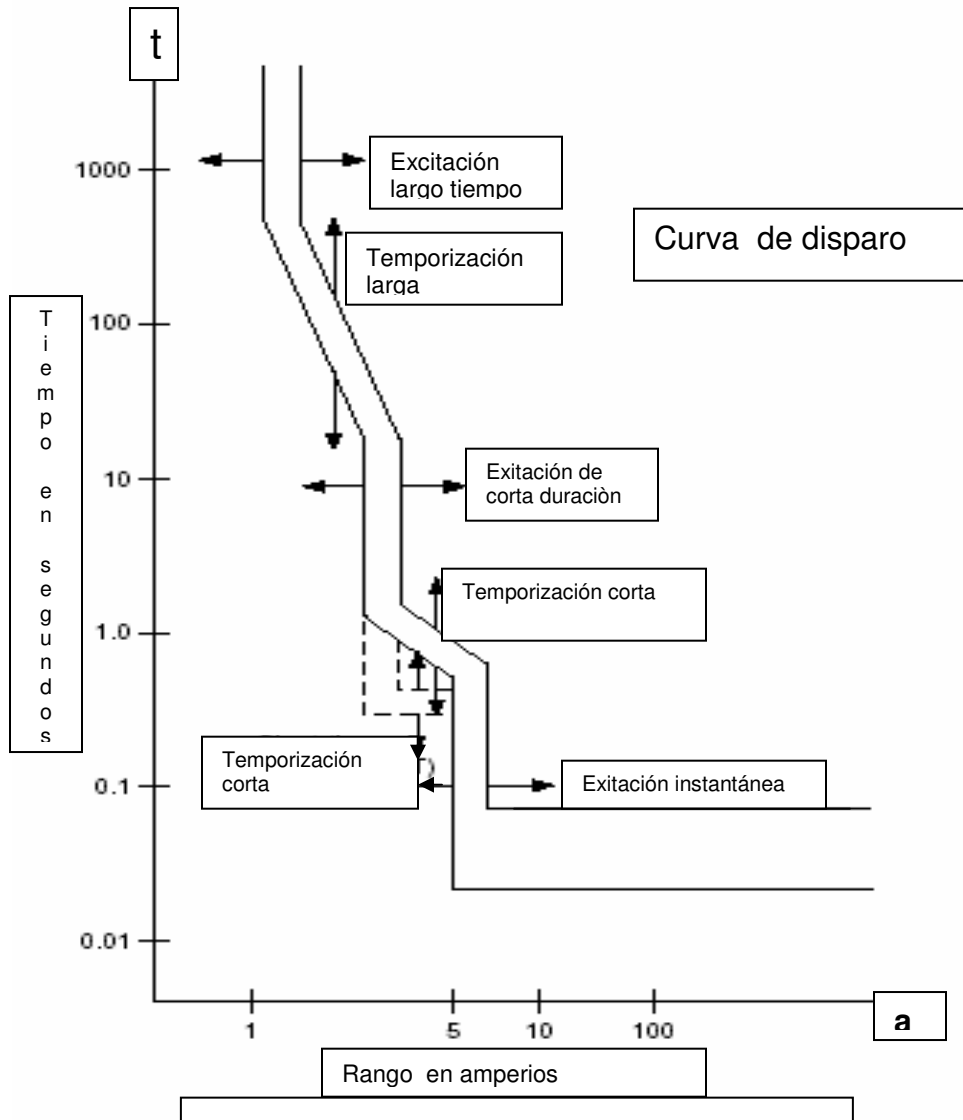


Figura. 17 Curva de disparo



Se presenta una curva de disparo, Fig. 17 que ilustra cómo los ajustes hechos a una unidad estándar de disparo afectará las características de disparo de un interruptor termomagnético. En el eje X, se presenta los múltiplos de la corriente y en el eje Y, el tiempo en segundos.

2. APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

La protección de sistemas eléctricos en contra de fallas en sus circuitos y equipos es de vital importancia. Aún los sistemas eléctricos mejor diseñados experimentarán ocasionalmente corto circuitos como resultado de corrientes anormales de gran magnitud.

La protección se logra por medio de dispositivos sensibles a las condiciones anormales, los cuales cuando se presentan fallas operan para aislar circuitos o equipos con problemas, interrumpiendo el flujo de energía.

Específicamente la protección es la aplicación de interruptores termo magnéticos en un sistema eléctrico, como medio automático de des-energizar circuitos bajo condiciones de cortocircuito o sobrecargas.

Entre los requisitos para una protección adecuada se pueden enumerar los siguientes:

- La detección de todas las fallas o de cuantas sean posibles.
- Adecuada capacidad interruptiva de los interruptores.
- Apropia selectividad y coordinación entre los sistemas de protección y una adecuada carga momentánea en todos los dispositivos involucrados.

Se puede definir la coordinación como el acto de aislar a un circuito bajo falla del resto del sistema evitando apagones innecesarios, o circuitos con cargas importantes que queden fuera de servicio. Actualmente los apagones frecuentes ocurren con frecuencia debido a sistemas con una pobre coordinación.

Una de las partes más importantes de una instalación eléctrica sin importar si es de un edificio de oficinas, industria, teatro, hospital etc. es el sistema de distribución eléctrica.

Nada detendrá una actividad, paralizará la producción, causará pánico, etc. como un apagón general, falla de un circuito de una carga importante. Por lo que es necesario y obligatorio aislar el circuito bajo falla, del resto de la instalación.

No es suficiente seleccionar dispositivos de protección tomando solamente como base su capacidad para soportar las cargas de falla máxima a su respectivo nivel. Un sistema diseñado correctamente permitirá también, que únicamente el dispositivo de protección más cercano a la falla, se abra mientras que el resto del sistema permanece sin disturbios, para que se mantenga la continuidad del servicio.

2.1 Protección no selectiva, protección- selectiva

La protección se interpreta como un grado de coordinación o protección donde más de un dispositivo de protección se abre bajo condiciones de cortocircuito.

El término coordinación es algo ambiguo, por lo que se puede agregar otro término a la coordinación, que es la selectividad. En la coordinación no selectiva fig. 18. Puede haber dos esquemas: sistema a plena capacidad (no selectivo) y sistema en cascada (no selectivo) .

En sistema a plena capacidad al 100%, todos los interruptores tanto el principal como los ramales, tienen rangos de interrupción iguales o mayores que el necesario para la corriente de falla en el punto de aplicación. Todos los interruptores están equipados con disparo instantáneo y retardo de tiempo.

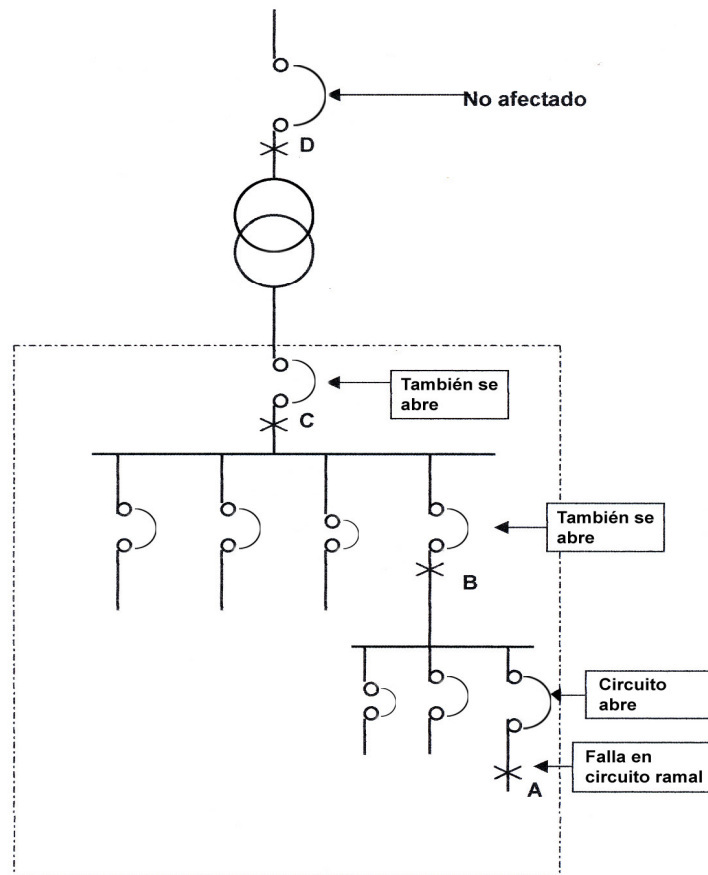
En este sistema, el interruptor principal usualmente tiene el rango más alto de corriente nominal, que el de los ramales. Una falla en un ramal puede provocar que ambos, el ramal y el principal se abran.

Esta reacción dará como resultado un apagón en todo el sistema. Alimentado a través del interruptor principal. Tal sistema es completamente adecuado desde el punto de vista de interrupción.

En el sistema en cascada el interruptor principal y los ramales secundarios o de alimentación están coordinados con respecto a sus capacidades interruptivas.

Figura 18. Coordinación no selectiva

Coordinación no selectiva
resultado: apagón en el sistema



En este caso el interruptor de alimentación se selecciona para que tenga un rango insuficiente de interrupción y el principal se selecciona para que tenga otro rango suficiente de interrupción.

Las características y montajes de los dispositivos de sobrecorrientes, deben seleccionarse cuidadosamente para asegurar que cada interruptor de alimentación y su interruptor principal se abrirán simultáneamente para cualquier falla mayor que el 80% del rango de interrupción del interruptor de alimentación.

El interruptor principal deberá estar equipado con disparo instantáneo, graduado para valores de corriente, los cuales pueden ocurrir por fallas más allá de la capacidad del interruptor de alimentación.

La coordinación en cascada requiere que los interruptores estén coordinados apropiadamente y ésta sea limitada para dos pasos de capacidad de interrupción.

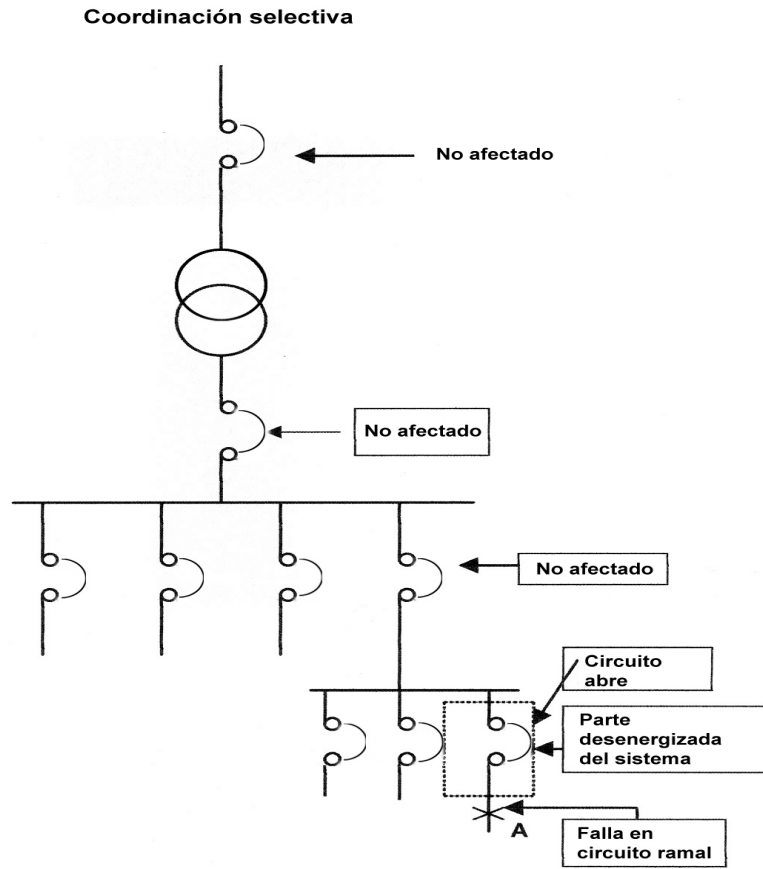
El sistema en cascada se usa únicamente donde la continuidad del servicio no se necesita, ya que con una falla grande, ambos el principal y el secundario, se abrirán. Con este sistema, por lo tanto, es aceptable un sacrificio en la continuidad de servicio en el sistema de distribución.

La protección selectiva de sistemas eléctricos debe ser segura en todas las condiciones de servicio, pero para asegurar continuidad en este, también debe de ser selectiva.

Un sistema selectivo, es aquel donde sólo el circuito bajo falla es aislado sin provocar disturbios en otras partes del sistema (fig. 19).

Los dispositivos de protección de sobrecorriente deben proporcionar protección tanto de corto circuito, como de protección de baja sobrecorriente, para los componentes de un sistema.

Figura 19. Coordinación selectiva



Para obtener seguridad, una operación selectiva y asegurar que los componentes estén protegidos de cualquier daño, deben calcularse primero las corrientes de corto circuito o de falla que puedan presentarse en distintos puntos del sistema eléctrico. Una vez especificados los niveles del cortocircuito, se puede especificar acertadamente los requisitos para la interrupción.

Para determinar la capacidad de interrupción, dicha capacidad puede definirse como la corriente máxima de cortocircuito que un dispositivo de protección pueda despejar con seguridad.

La coordinación selectiva se usa cuando la continuidad en el servicio es importante. Los interruptores a plena capacidad al 100 por ciento, se usan en el sistema. El disparo selectivo de sobrecorriente consiste en la aplicación de interruptores en serie para que, de los interruptores que llevan la carga, únicamente el que está más cerca se abra para despejar las condiciones de falla. Esto se logra equipando cada uno de los interruptores en serie, a excepción del más cercano a la carga, con dispositivos de disparo de sobrecorriente, coordinando las características tiempo-corriente en el rango de sobrecorriente corriente de falla.

Se pueden usar cuatro interruptores en serie para un disparo selectivo y el que está más cerca de la carga es equipado con disparo de sobrecorriente instantáneo.

Las bases de un sistema de disparo selectivo son que para la misma corriente, circulando a través de los interruptores termomagnéticos en serie, solamente el interruptor en el lado más cercano a la carga se abrirá.

Las características tiempo-corriente de los interruptores en serie no se deben traslapar.

2.2 Protección con interruptores con módulo de disparo electrónico

En sistemas eléctricos donde el tiempo perdido tiene consecuencias críticas, los interruptores termomagnéticos con disparo electrónico proveen una mejor versatilidad para alcanzar una mejor coordinación.

Por ejemplo, ciertas instalaciones donde la fabricación es un proceso continuo puede requerir continuidad en la operación durante una falla, condición por la cual si se quedase desenergizada toda la fábrica, sería más costoso que el daño causado únicamente en donde se presentó la falla. O bien en lugares críticos como hospitales, la pérdida total de energía, significa la muerte para algunos pacientes.

Estas situaciones requieren que la protección y coordinación sea optimizada a cualquier costo. En orden para maximizar la coordinación, los dispositivos ramales, corriente abajo deben de operar muy rápido. Y los interruptores principales deberán tener un retardo en la operación para que el interruptor en donde se presenta la falla, tenga tiempo para despejarla. Los disparos electrónicos de los interruptores ayudan grandemente para optimizar la coordinación.

Ventajas de los interruptores termomagnéticos con disparo electrónico.

- **Ajustes independientes**, permiten que una de las características sea modificada sin afectar al resto de ajustes, y niveles retardo. Esto permite diseñar una mejor definición de las características de disparo necesitadas para un sistema.

- **Disparos intercambiables:** las unidades de disparo electrónicas, comparten una serie *plugs* de corriente, lo que facilita establecer, o cambiar el rango de corriente nominal del interruptor. Al cambiar por medio de un *plug*, el rango nominal de corriente del interruptor, le permite al diseñador desplazar las curvas características de disparo, para mejorar la coordinación y protección con otros dispositivos.
- **El rango sostenible:** le da al diseñador un amplio panorama y potencial de coordinación. El rango que puede mantener o sostener, es el nivel de corriente r. m. s. el cual, el interruptor puede conducir, con los contactos cerrados durante un cierto período de tiempo. A niveles de corriente superiores que este rango (y menores o iguales que el rango de interrupción) el interruptor termomagnético efectuará un disparo instantáneo.
- **Características de retardo inversas respecto al tiempo:** permiten una mejor coordinación con fusibles o con interruptores termomagnéticos corriente abajo, es decir hacia las cargas. Los dispositivos responden al calor generado por el flujo de corriente tienen características de disparo inversas respecto al tiempo. Esto significa que al aumentar la corriente el tiempo que toma el dispositivo para dispararse disminuirá. Para coordinarse mejor con dispositivos corriente abajo, los interruptores con disparo electrónico ofrecen las características de retardo inverso respecto al tiempo, en el las funciones de tiempo largo y tiempo corto.

- **Detección falla a tierra:** los interruptores electrónicos simplifican la instalación de equipamiento de detección de falla a tierra en un sistema eléctrico.

Montados externamente los sistemas de falla a tierra requieren la especificación de cinco diferentes partes, el interruptor, un relé de falla a tierra, un sensor de falla a tierra, un *shunt-trip* para el interruptor, y un cableado adicional para instalar el sistema.

Generalmente, los disparos electrónicos incluyen casi todos los sistemas de detección exceptuando el sensor de neutro. Esto significa que la detección de falla a tierra mas la protección de sobrecorriente, es tan fácil como especificar un dispositivo adicional de montaje.

Los interruptores termomagnéticos tienen capacidad de comunicarse entre ellos. La comunicación entre interruptores a diferentes niveles en el sistema, permite que interruptores corriente abajo, los más cercanos a la falla, ignoren los retardos fijados y se disparen sin ningún tiempo de retardo intencional o prefijado, cuando hay un cortocircuito o falla a tierra. Esta forma de comunicación se conoce como enclavamiento selectivo por zonas.

La coordinación asegura la continuidad en el servicio maximizado durante cualquier tipo de sobrecorriente.

Las funciones estándar de las unidades de disparo ofrecen la protección de

- Protección de tiempo largo
- Protección instantánea.

Opcionales

- Rango alto (fijo) para protección de sobrecorriente instantánea.
- Protección de tiempo corto
- Protección de falla a tierra.
- Protección por enclavamiento de zonas.

2.3 Coordinación de protección con módulos inteligentes

La coordinación es el proceso de lograr la protección en contra de condiciones de sobrecorriente para restringir una falla y que afecte sólo al equipo involucrado. Únicamente el dispositivo más cercano a la falla se dispara. La coordinación no existe cuando se abren más que un dispositivo simultáneamente durante condiciones de sobrecorriente.

El grado de coordinación depende de la carga. Para cargas menos críticas tales como iluminación, la carencia de coordinación no es importante. Sin embargo, para aplicaciones críticas como en un hospital, la coordinación es necesaria.

El orden de maximizar la coordinación los dispositivos ramales corriente abajo deben operar muy rápido. La coordinación se limita por las características de disparo instantáneo de los dispositivos corriente arriba. Cuando la magnitud de la sobrecorriente excede el punto instantáneo del dispositivo corriente arriba, éste disparará sin retardo y la coordinación se pierde.

El medio normal de obtener selectividad entre los interruptores de los circuitos de alimentación y el principal es mediante la incorporación de programadores con características de disparo de tiempo coordinado, que consiste en ajustar el interruptor automático más lejano en el circuito con un pequeño retraso y aumentando poco a poco el retraso de los demás interruptores según se van acercando al dispositivo de protección principal. La desventaja de este método es que el sistema eléctrico deberá soportar los esfuerzos de las corrientes elevadas de fallas hasta que expire el retraso o temporización de los dispositivos.

En sistemas de enclavamiento selectivo por zonas, el interruptor que detecta la falla, se dispara inmediatamente (con un mínimo de retraso). Al mismo tiempo envía una señal a todos los interruptores ubicados más cerca de la fuente de alimentación con el fin de bloquearlos para que no disparen. Los interruptores ubicados más cerca de la fuente de alimentación responden a la falla mediante el disparo temporizado de su banda de ajuste.

El disparo temporizado proporciona la protección de respaldo requerida para los dispositivos conectados más cerca de la carga. El enclavamiento selectivo por zonas puede obtenerse para la función de corto tiempo, la función de falla a tierra o ambas.

La adecuada coordinación de protección de sobrecorriente, requiere una comparación de las características de los interruptores en un sistema. Las curvas de disparo de estos son una forma rápida y fácil para determinar si la coordinación existe cuando se dimensionan los interruptores termomagnéticos y cuando se revisa un sistema de distribución ya existente.

Asímismo se reduce el estrés producido por la falla en un sistema eléctrico especificando interruptores con enclavamiento selectivo por zonas; que establece un alto grado de sofisticación en la protección permitiendo a los dispositivos electrónicos de disparo de los interruptores comunicarse entre ellos. Esta comunicación permite el diseño de una coordinación selectiva en la cual nuevamente lo que se busca es que el cortocircuito o la falla a tierra sea aislada por el dispositivo más cercano a la falla sin retardo de tiempo. Además se mantendrá la coordinación en áreas no afectadas.

El enclavamiento selectivo por zonas funciona independientemente de los parámetros que se hayan fijado a las unidades de disparo electrónicas. La única diferencia entre un sistema de enclavamiento selectivo por zonas y otro es el cable de comunicación entre los dispositivos de disparo electrónico. Se puede seleccionar y especificar el mismo interruptor, llevar a cabo el mismo estudio de coordinación y hacer los mismos ajustes de parámetros, en las unidades de disparo electrónicas.

Los interruptores con disparos de tiempo- corto, y falla a tierra tienen retrasos ajustables para permitir coordinación con otros dispositivos. Normalmente, retardos largos se seleccionan en interruptores, más allá de corriente arriba, más cercanos a la fuente principal de alimentación para permitir que los dispositivos corriente abajo tengan la oportunidad de dispararse primero. Mientras que esto provee coordinación, resulta también en tiempos más largos de disparo porque los interruptores deben obedecer a sus parámetros seleccionados. Si se provee comunicación entre los interruptores termomagnéticos, el enclavamiento selectivo por zonas permite que el interruptor ignore sus retardos de tiempo, cuando sea necesario.

Cuando un interruptor termomagnético equipado detecta un cortocircuito corriente abajo, o falla a tierra, envía una señal restringiendo al interruptor corriente arriba. Esta señal manda o instruye al interruptor corriente arriba, para que ejecute el retardo de tiempo seleccionado en su unidad de disparo.

Para cualquier zona selectiva, el dispositivo de disparo electrónico del interruptor más lejano corriente abajo no tiene significado recibir una señal restringida. Si este interruptor está alimentando otro tablero el interruptor de alimentación debe ser auto restringido. Esto se logra conectando la salida de su señal hacia su propia entrada de señal y la entrada al interruptor más cercano, corriente arriba.

Auto restringir la unidad de disparo electrónica del interruptor permite que corriente abajo el interruptor termomagnético detecte y elimine la falla disparándose.

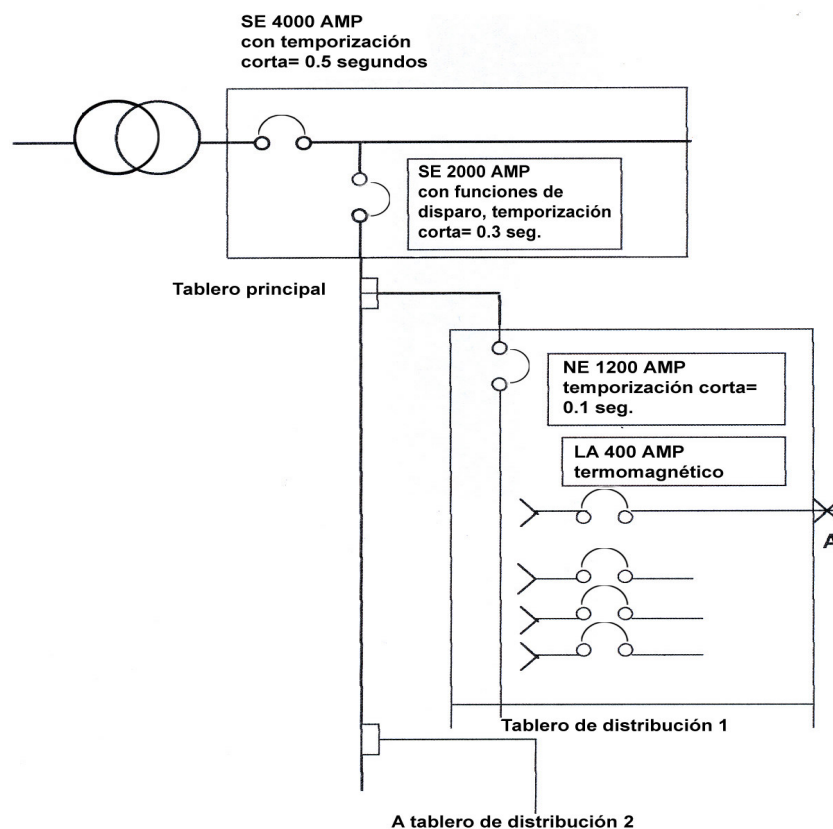
Si el interruptor más lejano corriente abajo, con disparo electrónico es un interruptor ramal, no deberá ser auto restringido. El resultado de no restringir al interruptor es que el retardo de corto tiempo y el retardo de falla a tierra son esencialmente removidos, Una sobrecorriente o falla a tierra causará que el interruptor se dispare sin retardo de tiempo intencional.

A continuación se presenta un ejemplo del enclavamiento selectivo por zonas. La figura 20, muestra un diagrama unifilar de un sistema de distribución.

El sistema consta de un interruptor principal de 4,000 amperios, con dispositivo de disparo electrónico.

Un interruptor de 2,000 amperios, con dispositivo de disparo electrónico, que alimenta un ducto barra de 2,000 amperios y un tablero de distribución. El tablero contiene un interruptor principal de 1,200 amperios con disparo electrónico y un interruptor ramal de 400 amperios con disparo termomagnético.

Figura 20. Sistema sin enclavamiento selectivo



Se presentará cómo reacciona el sistema con enclavamiento selectivo y sin enclavamiento selectivo. Presentándose fallas en los puntos A, B, C, y D.

Se asume una falla entre fases de 25,000 amperios para todos los puntos. Los disparos electrónicos tienen funciones de disparo como se muestran en la figura 20.

L = Rango de tiempo largo y retardo.

S = Tiempo corto y retardo

G = Falla a tierra y retardo.

Los 25 Kiloamperios exceden la excitación instantánea (magnética) de corto circuito. Para el interruptor de 400 amp. y para el tiempo corto ajuste de excitación de corta duración, de los interruptores de 1,200, 2,000 y 4,000 amp.

El interruptor principal SE 4,000 amperios

STD= 0.50 segundos

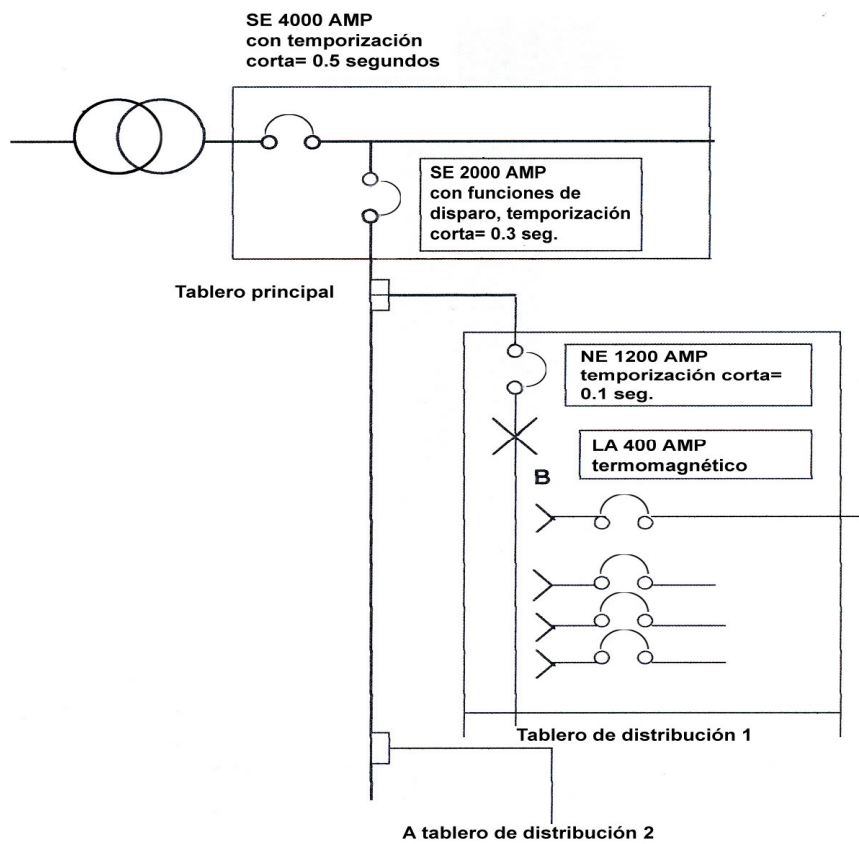
Sistema sin enclavamiento selectivo por zonas

- A. Si la falla de 25 kiloamperios ocurre en el punto A, (fig. 20) todos los interruptores en este sistema (LA400, NE1,200 SE2,000 SE4,000) detectarán la falla. Cada disparo electrónico de los interruptores empezará con el retardo de tiempo corto seleccionado para cada uno. El interruptor LA, disparo termomagnético despejará la falla sin ningún retardo, un ciclo máximo. Desde que todos los interruptores corriente arriba tienen retardos de tiempo mas largos, permanecerán cerrados debido a que la falla fué despejada antes que los tiempos de retardo se cumplieran. La coordinación existe debido a que el apagón fue aislado por el interruptor más cercano, corriente arriba de la falla.

- B. Es improbable que una falla ocurra internamente en un tablero de distribución, punto B. Sin embargo, si tal falla ocurriera, únicamente los interruptores NE1,200, SE2,000 y SE4,000 la sentirán. Sin el enclavamiento selectivo por zonas, el interruptor NE esperará 0.1 segundos antes de abrirse despejando la falla.

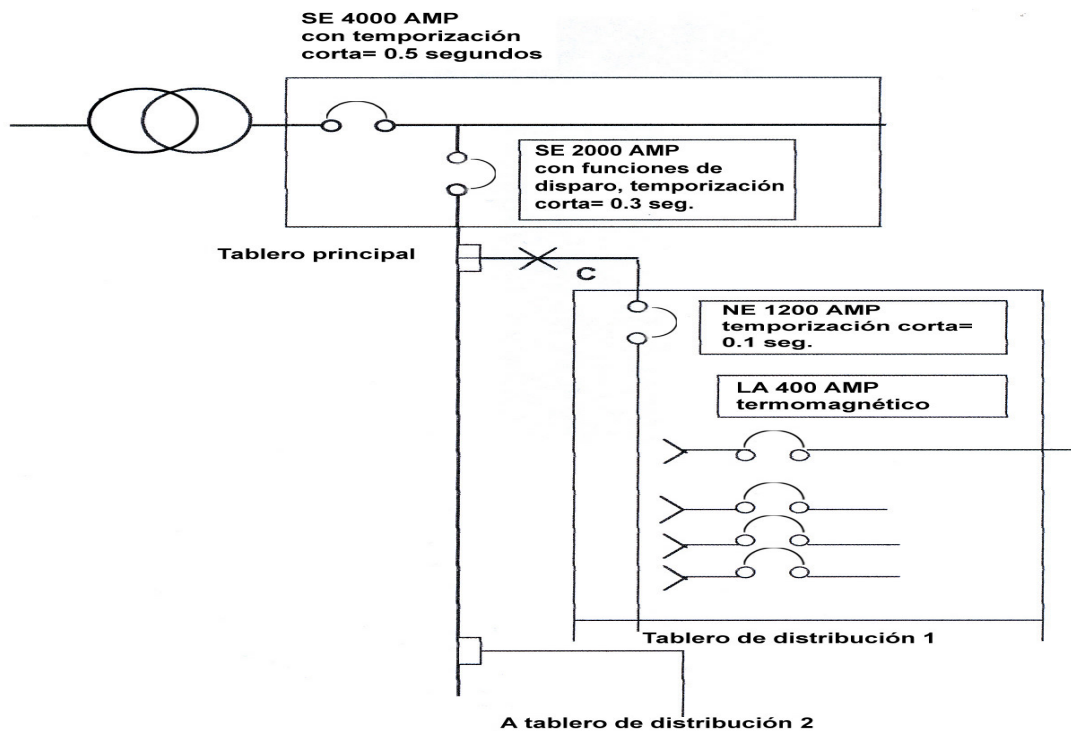
Los interruptores corriente arriba permanecerán cerrados porque su retardo de corto tiempo estaba fijado para un valor mayor que excede al interruptor NE 0.1 segundo de retardo más el tiempo de disparo.

Figura 21. Sistema no selectivo



C. Si la falla ocurre en el punto C, únicamente los interruptores SE2,000 y SE4,000 la sentirán y empezarán a ejecutar sus retardos de tiempo. Sin embargo, el interruptor corriente arriba SE4,000 permanecerá cerrado después de el SE2,000 despeje la falla sin el enclavamiento selectivo por zonas, debido a que el SE2000 seguirá su patrón de retardo de 0.3 segundos antes de disparar. Durante este tiempo parte del sistema adelante de la falla es expuesta al estrés de la falla.

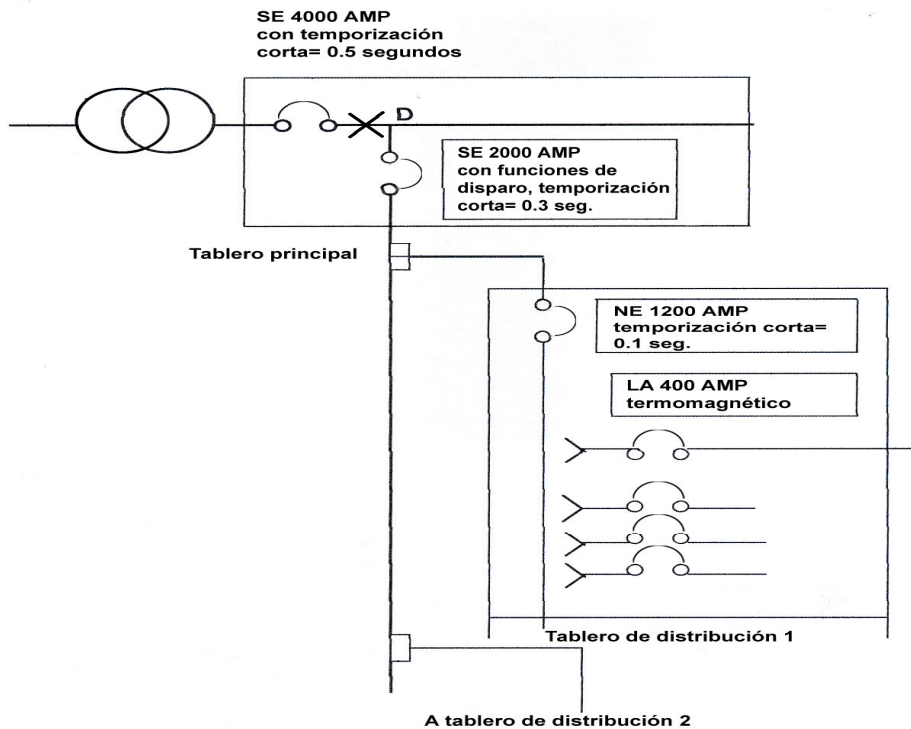
Figura 22. Sistema sin enclavamiento selectivo



D. Si la falla ocurre en el punto D, el interruptor principal SE4000 es el único en sentirla y por lo tanto deberá dispararse. Sin el enclavamiento selectivo por zonas el SE4000A, deberá esperar medio segundo para satisfacer el retardo fijado antes de disparar.

Durante este tiempo las porciones del sistema adelante de la falla son expuestas al estrés de ésta durante 0.5 segundos de retardo, más el tiempo que tarda en dispararse el interruptor.

Figura 23. Sistema sin enclavamiento selectivo



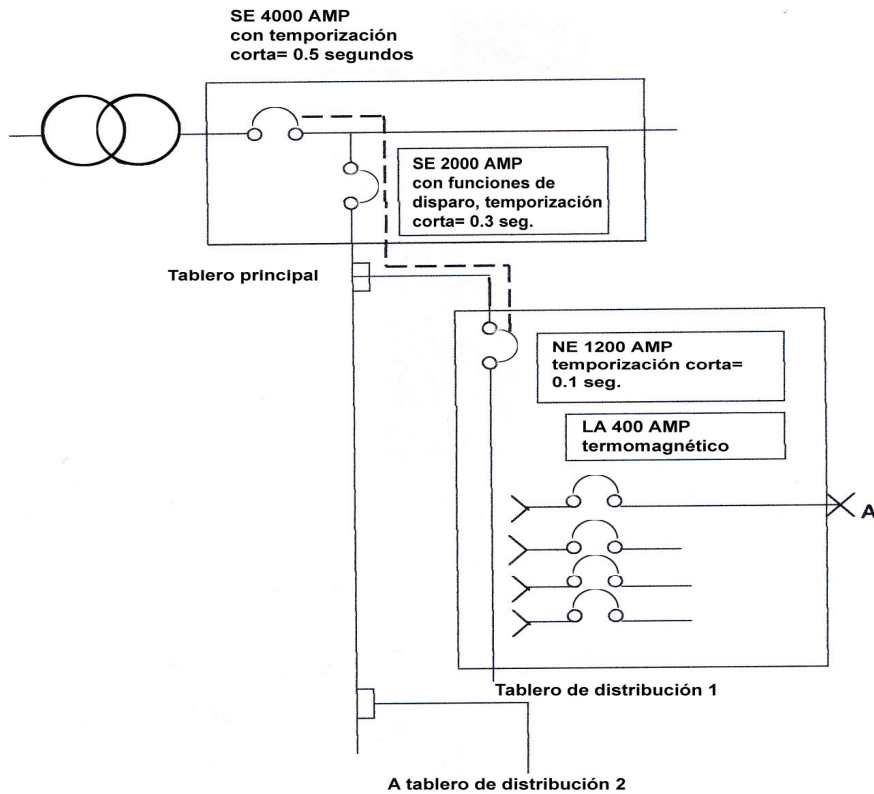
- **Sistema con enclavamiento selectivo por zonas**

Examinando nuevamente el sistema de distribución con la misma situación, ahora con un enclavamiento selectivo por zonas en los interruptores con disparo electrónico, NE, SE, desde que el interruptor NE1,200 es el interruptor con el enclavamiento selectivo más lejano corriente abajo, deberá estar auto restringido.

A. Si la falla ocurre en el punto A, todos los interruptores detectarán la falla. El interruptor LA400 se dispara instantáneamente. Si el interruptor NE, está con enclavamiento selectivo por zonas, pero no auto restringido, ignorará sus valores prefijados de retardo de tiempo-corto y también se disparará sin retardo intencional (0.08 segundos como máximo). Figura 24

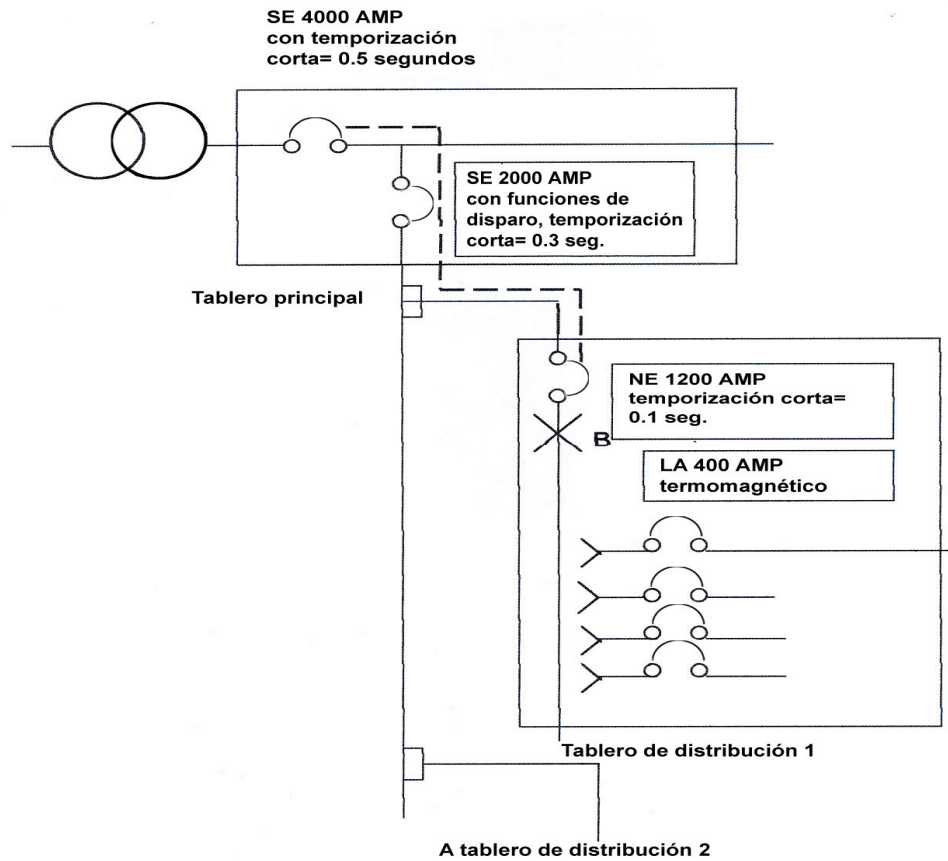
Un interruptor NE, autorestringido, en adición enviará una señal restringida corriente arriba para forzar que los interruptor SE, empiecen con sus retardos de tiempo prefijados y éste esperará 0.1 segundos permitiendo que el interruptor LA400, despeje la falla, por lo tanto alcanzará la coordinación.

Figura 24. Sistema con enclavamiento selectivo



- B. En el caso extremo que la falla se presente en el punto B, la falla es reconocida por los interruptores NE1200 A, SE2000A, SE4000A. Con el enclavamiento selectivo por zonas, el interruptor NE envía una señal restringida corriente arriba la cual provoca que el interruptor SE, empiece a contar su respectivo parámetro de tiempo prefijado de tiempo-corto. Si el interruptor NE no es auto restringido, se disparará sin retardo intencional (0.08 segundos máximo) reconociendo la falla. Autorestringiendo al interruptor NE, causará que ejecute su tiempo de retraso de 0.1 segundos antes de dispararse.
- Figura 25

Figura 25. Sistema con enclavamiento selectivo

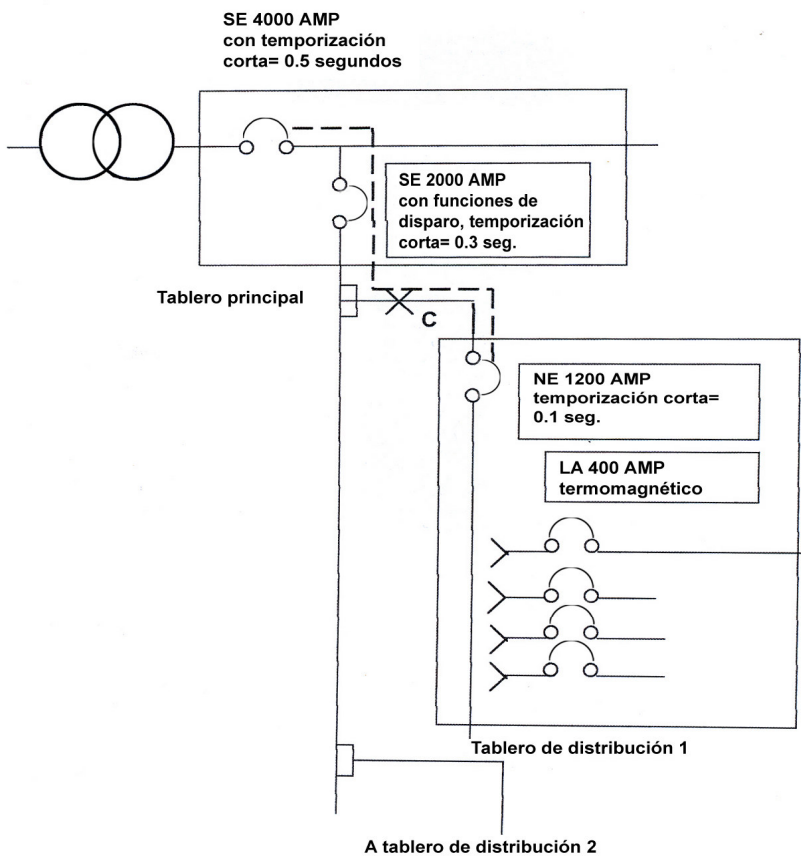


La línea punteada significa la comunicación entre los interruptores termomagnéticos por medio de la cual se envía la señal.

- C. Si la falla ocurriese en el punto C, ambos interruptores SE2000 Y SE4000, sentirán la falla. Debido a que la falla es corriente arriba, el interruptor NE1200, no la sentirá. Ahora con el enclavamiento selectivo, el interruptor SE2000 envía una señal restringida al interruptor principal SE4000. La señal restringida obliga que el interruptor principal SE, ejecute su retardo de tiempo de 0.5 segundos.

Pero debido a que el interruptor SE2000, no recibe una señal restringida del interruptor NE corriente abajo (el NE no siente la falla) entonces éste ignora su retardo de tiempo-corto de 0.3 segundos y por lo tanto se disparará sin retardo intencional (0.09 segundos como máximo).

Figura 26. Sistema selectivo

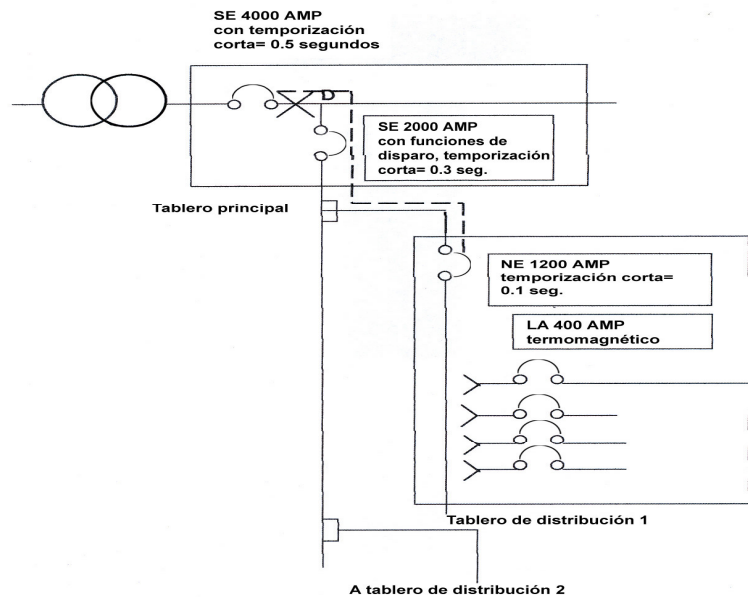


- D. Si la falla ocurriese en el punto D, únicamente el interruptor principal SE4000, sentirá la falla. Debido a que el interruptor SE, no recibe ninguna señal restringida del interruptor SE2000.

Por lo que ignora los 0.5 segundos de retardo de tiempo, y dispara instantáneamente (0.09 segundos como máximo) reduciendo también el estrés provocado por la falla. Figura 27

La capacidad de comunicación que se provee por medio del enclavamiento selectivo por zonas aísla la ubicación de la falla y fuerza al interruptor más cercano corriente arriba de la falla para que dispare sin tener señal restringida o si retardo de tiempo intencional. Esto se logra debido que el enclavamiento selectivo por zonas permite al interruptor ignorar los retardos de tiempo, y el disparo es rápido.

Figura 27 Sistema con enclavamiento selectivo



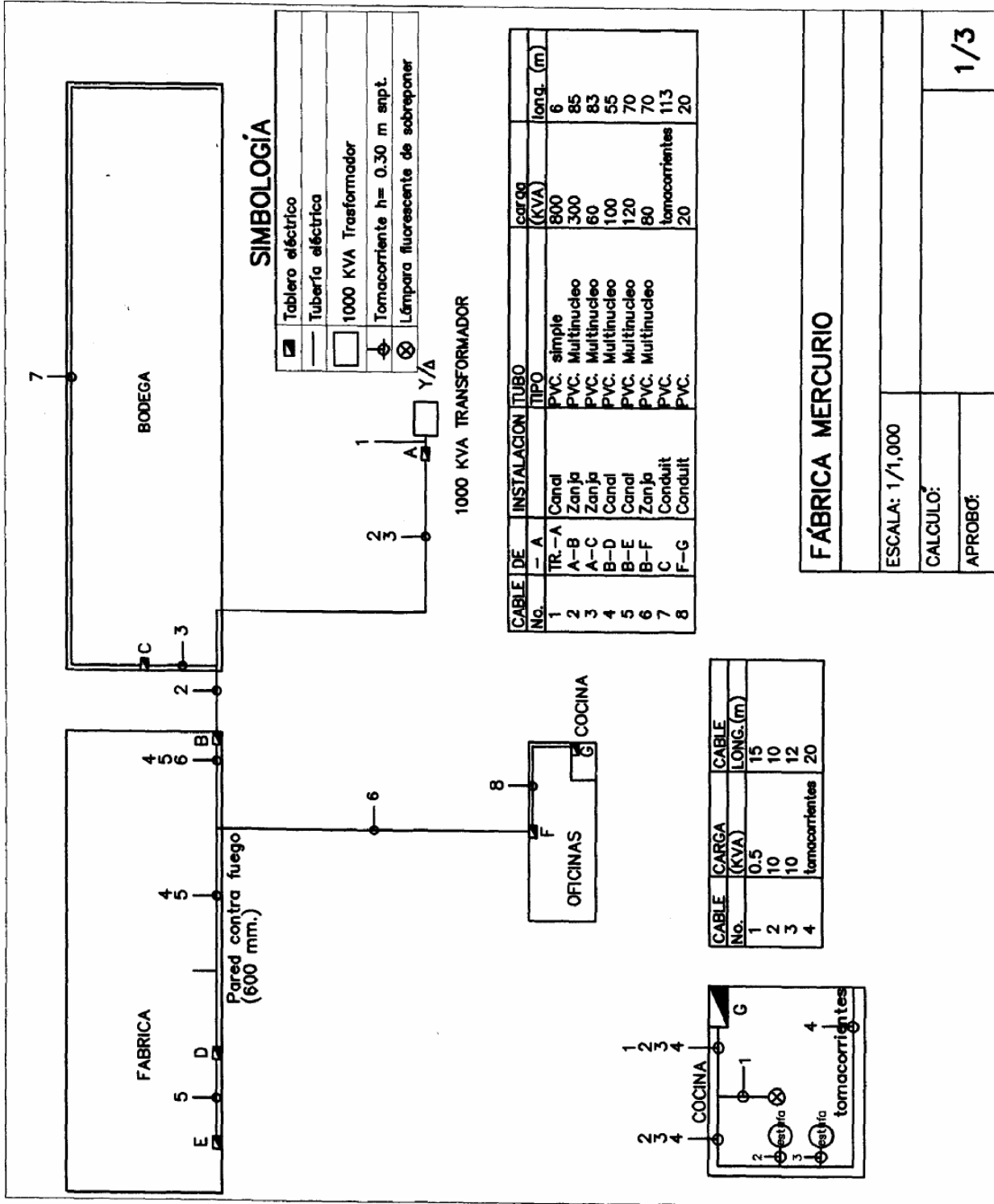
3. ESTUDIO PRÁCTICO DE PROTECCIÓN

3.1 Presentación de una instalación típica.

A continuación se presenta en planta la instalación del complejo en base a la cual se desarrollará el ejemplo del estudio de protección.

Para presentar la instalación típica es necesario elaborar un plano de la planta.

- Ubicación de cada área.
- Ubicación física de los tableros.
- Cuantificación de las cargas, en KVA de cada área.
- Numeración de los circuitos.



3.2 Diagrama unifilar

Dibujo de la instalación que detalla los circuitos y las cargas. Para obtener el diagrama unifilar es necesario, primero un reconocimiento en campo de la ubicación física de la instalación, empezando con el transformador, su tamaño en KVA, su interruptor principal. Hacer un Inventario de los tableros secundarios, con interruptor principal y ramales. Rango en amperios de los interruptores e indicar los calibres de los conductores y número de conductores que alimentan cada carga.

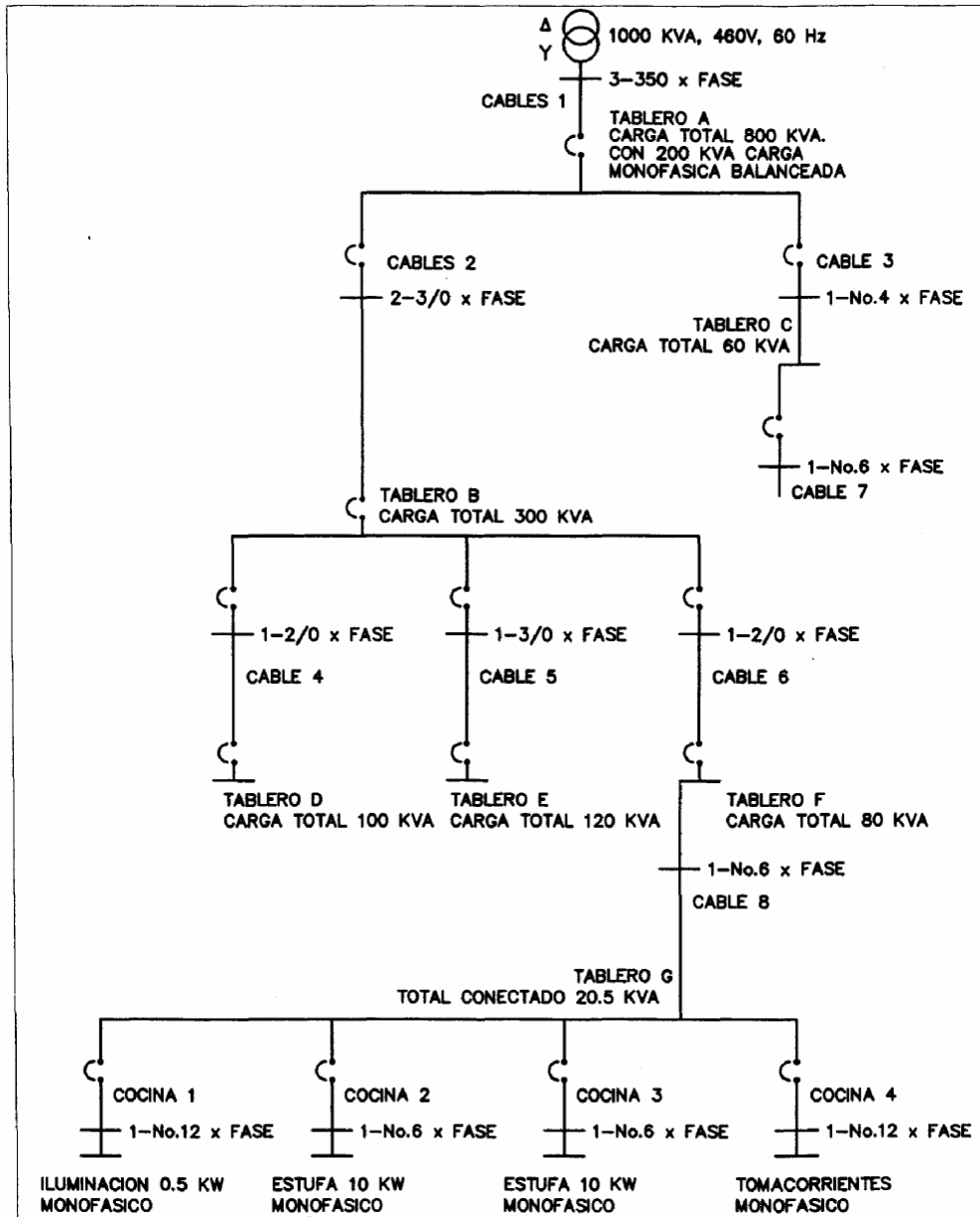
Se presenta a continuación un cuadro que describe las cargas

Tabla I. Descripción de cargas

	De	Instalación	Tubería	Carga	Long.
No.	A		Tipo	KVA	m.
1	TR A	Canal	PVC	800	6
2	A – B	Zanja	PVC	300	85
3	A – C	Zanja	PVC	60	83
4	B – C	Canal	PVC	100	55
5	B – E	Canal	PVC	120	70
6	B – F	Zanja	PVC	80	70
7	C	Conduit	PVC	Tomacorriente	113
8	F – G	Conduit		20	20

Cocina	Carga	Long
No.	KVA	m.
1	0.5	15
2	10	10
3	10	12
4	Tomacorriente	20

Plano figura 2/3



SIMBOLOGÍA

	Transformador
	Interruptor termomagnético
	Tablero eléctrico
	Tablero eléctrico
	Tubería eléctrica
	Tomacorriente h= 0.30 m snpt.
	Lámpara fluorescente de sobreponer

FABRICA MERCURIO	
DIAGRAMA UNIFILAR	
SIN ESCALA	
CALCULÓ:	
APROBÓ:	
	2/3

3.3 Cálculo de las corrientes en el circuito de distribución voltaje 460 v.

En base a las cargas indicadas en el diagrama unifilar, se calcula las corrientes

$$\text{Fórmula } I_b = \frac{P}{V \times 1.73}$$

Tabla II. Corrientes

Cable No.	P (kva)	V	$I_b = \frac{P}{V \times 1.73}$
1	800	460	1,005 amp.
2	300	460	377 amp.
3	60	460	75 amp.
4	100	460	126 amp.
5	120	460	151 amp.
6	80	460	101 amp.
7			20 amp.
8	10	260	41 amp.

3.1.1 Selección del conductor

Se calculará el calibre del conductor en base a las corrientes en cada carga usando las tablas que se muestran en el anexo. En éste se muestra métodos de instalación de los cables, los factores de corrección para temperaturas ambiente, caídas de voltaje, capacidad de conducción de corriente.

Cable 1: In = 1,005A

Son tres cables, por fase, en una canaleta. 4" x 6"

El factor de agrupamiento $C_g = 0.81$ de la tabla 4B1 página 81.

Se asume el factor de temperatura ambiente igual a $C_a = 1.0$ para 30°grados C.

$I_t = I_n / C_g = 1,005 / 0.81 = 1,240$ amperios. I_t por cable = 414 amperios.

Tabla III. Selección del conductor

Cable	I_n	$I_t = \frac{I_n}{C}$	I_t por cable I_t por cable = I_n No. Cables	Tabla de I_{ta}	I_{ta}	$I_n^{*1.25}$	I_t por cable = $\frac{I_n}{C}$ No. Cables	MCM
1	1,005	1,241	414	4D1A	424	1256	419	350
2	377	546	273	4D4A	251	471	236	3/0
3	75	99	99	4D4A	135	94	94	4
4	126	166	166	4D4A	163	158	158	2/0
5	151	378	378	4D2A	223	189	189	3/0
6	101	125	125	4D4A	149	126	126	2/0
7	20	20	20	4D1A	76	25	20	6
8	41	50	50	4D1A	50	51	50	6
Cocina Cable 1	2.1	6	9	4D1A	18	3	9	12
Cocina Cable 2	41	58	58	4D1A	57	51	58	6
Cocina Cable 3	41	58	58	4D1A	57	51	58	6
Cocina Cable 4	20	29	29	4D1A	32	25	29	12

Tabla	Caídas de voltaje		
	R	X	z mV/A/m
4D1B	0.21	0.15	0.26
4D4B	0.33	0.135	0.35
4D4B	1.5	0.145	1.50
4D4B	0.21	0.130	0.25
4D2B	0.165	0.130	0.21
4D4B	0.55	0.14	0.57
4D1B	1.8	0.33	1.8
4D1B			3.8
4D1B			29
4D1B			4.4
4D1B			4.4
4D1B			4.4

De la tabla página 81 columna 9: $I_{ta} = 424 \text{ } 185 \text{ mm}^2$

De la tabla página 81 columna 7: Caída de voltaje entre fases

$r = 0.21$ $x = 0.145$ $z = 0.26 \text{ mV/A/m}$.

3.3.2 Cálculo de la caída de voltaje

En la sección anterior los conductores se revisaron para que se cumplan las normas con los requerimientos para la protección de sobrecargas. En esta sección todos los cables serán revisados para que estén dentro de la caída permisible de voltaje.

La caída de voltaje para los cables más largos consiste en dos componentes, resistencia (r) y reactancia (x). Para calcular la caída de voltaje del sistema correctamente, todas las caídas resistivas se deben sumar separadamente de las caídas reactivas y el valor final se calcula como se describe:

Caída de voltaje del sistema = $\sqrt{(\text{suma de todas las } r)^2 + (\text{suma de todas las } x)^2}$

Cálculo de las caídas individuales

Cálculo de caída de voltaje en los cables monofásicos:

Caída de voltaje (z) = (cable " z " x longitud del cable x corriente de carga) / 1000
(caída total)

Caída de voltaje (r) = (cable " r " x longitud del cable x corriente de carga) / 1000
(caída resistiva)

Caída de voltaje (x) = (cable " x " x longitud del cable x corriente de carga) / 1000
(caída reactancia)

Cálculo de caída de voltaje en cables en paralelo:

$$\text{Caída de voltaje (z) = } \frac{\text{(cable "z" x longitud del cable x corriente de carga)}}{\text{Circuitos en paralelo x1000}}$$

(caída total)

$$\text{Caída de voltaje (r) = } \frac{\text{(cable "r" x longitud del cable x corriente de carga)}}{\text{Circuitos en paralelo x1000}}$$

(caída resistiva)

$$\text{Caída de voltaje (x) = } \frac{\text{(cable "x" x longitud del cable x corriente de carga)}}{\text{Circuitos en paralelo x1000}}$$

(caída reactancial)

Cable 1: del transformador al tablero Principal A

$$\text{Caída de voltaje (z) = } \frac{\text{(cable "z" x longitud del cable x corriente de carga)}}{\text{Circuitos en paralelo x1000}}$$

(caída total)

$$= (0.26 \times 6 \times 1005) / (3 \times 1000) = 0.523 \text{ V.}$$

$$\text{Caída de voltaje (r) = } (0.21 \times 6 \times 1005) / (3 \times 1000) = 0.422 \text{ V.}$$

$$\text{Caída de voltaje (x) = } (0.145 \times 6 \times 1005) / (3 \times 1000) = 0.291 \text{ V.}$$

Los cálculos se resumen en una hoja de cálculo debido a que el procedimiento es repetitivo.

Tabla IV. Caída de voltajes en cables en paralelo

Cable 1	Del transformador al tablero principal				
	Cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	0.26	6	1005	3	0.523
Caída de voltaje r	0.21	6	1005	3	0.422
Caída de voltaje x	0.145	6	1005	3	0.291

Continuación tabla IV

Cable 2		Del tablero A hacia el tablero B			
	cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	0.35	85	377	2	5.608
Caída de voltaje r	0.33	85	377	2	5.287
Caída de voltaje x	0.125	85	377	2	2.003

Cable 3		Del tablero A hacia el tablero C			
	cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	0.81	83	76	1	5.109
Caída de voltaje r	0.8	83	76	1	5.046
Caída de voltaje x	0.14	83	76	1	0.883

Cable 4		Del tablero A hacia el tablero D			
	cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	0.21	55	126	1	1.455
Caída de voltaje r	0.165	55	126	1	1.143
Caída de voltaje x	0.13	55	126	1	0.901

Cable 5		Del tablero A hacia el tablero E			
	cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	0.185	70	151	1	1.955
Caída de voltaje r	0.135	70	151	1	1.4
Caída de voltaje x	0.13	70	151	1	1.3741

Cable 6		Del tablero A hacia el tablero F			
	cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	0.57	70	101	1	4.030
Caída de voltaje r	0.55	70	101	1	3.889
Caída de voltaje x	0.14	70	101	1	0.9898

Continuación Tabla IV.

Cable 7 Del centro de carga C a las salidas de los tomacorrientes							
	Cable z	Longitud m.	Corriente de Carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts	V* 3	Caída 3f Equivalen Te
Caída de Voltaje z	1.8	113	20	1	4.068	1.73	7.038
Caída de Voltaje r	1.8	113	20	1	4.1	1.73	7.038
Caída de Voltaje x	0.33	113	20	1	0.746	1.73	1.290

Cable 8 Del centro de carga F al centro de Carga G					
	cable z	Longitud m.	Corriente de carga amp.	Circuitos en paralelo	Caída en Volts
Caída de voltaje z	3.8	20	41	1	3.116

Cocina hacia cable 1 iluminación						Caída 3f Equivalente
Caída de voltaje z	29	15	2.1	1	0.9135	V
Caída de voltaje Equivalente trifásica	0.9135*1.73					

Cable de cocina hacia cable 2. Boiling Pan						Caída 3f Equivalente
Caída de voltaje z	4.4	10	41	1	1.804	V
Caída de voltaje equivalente trifásica	1.804*1.73					

Cable de cocina hacia cable 3. Boiling Pan						Caída 3f Equivalente
Caída de voltaje z	4.4	12	41	1	2.1648	V
Caída de voltaje equivalente trifásica	2.1648*1.73					

Cable de Cocina hacia cable 4. Boiling Pan						Caída 3f equivalente
Caída de voltaje z	4.4	20	20	1	1.76	V
Caída de voltaje equivalente trifásica	1.76*1.73					

Cálculo de caída de voltaje en todo el sistema

Para regulación se toma como un porcentaje de caída permisible de 4% con un sistema de 460 V. * 0.04 = 18.4 Volts

Tabla V. Caída de voltaje en todo el sistema

Tablero	Cable	V(z) =	
A	Cable 1	0.523	V.
B	Cable 1 + Cable 2	6.130	V.
C	Cable 1 + Cable 3	5.632	V.
Salida de tomacorrientes de C	Cable 1 + Cable 3 + Cable 7	12.670	V.
D	Cable 1 + cable 2 + cable 4	7.586	V.
E	Cable 1 + cable 2 + cable 5	8.449	V.
F	Cable 1 + cable 2 + cable 6	10.160	V.
G	Cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8	13.276	V.
Cocina 1	Cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 1	14.857	V.
Cocina 2	Cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 2	16.397	V.
Cocina 3	Cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 3	17.021	V.
Cocina 4	Cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 4	16.321	V.

Como una aproximación inicial, se suman las caídas de cada cable sin tomar en consideración los efectos de $V(r)$ y $V(x)$. Esto resulta en una caída mayor que la caída de voltaje real. Se presentan las caídas aproximadas de voltajes calculadas desde el transformador como origen de la instalación, hasta la carga.

Como muestran las aproximaciones, la máxima caída de voltaje, en la instalación está por debajo del 4%. Como las aproximaciones han producido caídas más bajas, que las caídas reales de voltaje, no es necesario entrar a detalles y mas cálculos.

Sin embargo, con el fin de demostrar cómo la caída de voltaje se calculó usando los valores , $V (r)$, $V (x)$, $V (z)$. se toma las caídas de voltaje calculadas de las caídas individuales. Los datos presentados se obtienen de los datos del tablero A; para el tablero B, se le suman los datos del tablero A a la caída individual de cada tramo o cable en mención, indicados en la tabla del cálculo de las caídas individuales.

La caída de voltaje $V(z)$ es la raíz cuadrada de la caída $V (r)$ al cuadrado más la suma de la caída $V(x)$ al cuadrado** (pág 54).

Tablero A: cable 1

$V (r) =$	0.422	V.
$V (x) =$	0.291	V.
$V (z) =$	0.523	V.

Tablero B: cable 1 + cable 2

$$V (r) = 0.422 + 5.287 = 5.709 \text{ V.}$$

$$V (x) = 0.291 + 2.203 = 2.294 \text{ V.}$$

$$V (z) = \sqrt{ (5.710)^2 + (2.294)^2 }$$

$$V (z) = 6.153 \text{ V.}$$

Tablero B: cable 1 + cable 2

$V (r) =$	5.710	V.
$V (x) =$	2.294	V.
$V (z) =$	6.153	V.

Tablero C: cable 1 + cable 3

$$V(r) = 0.422 + 5.046 = 5.469 \text{ V.}$$

$$V(x) = 0.291 + 0.883 = 1.175 \text{ V.}$$

$$V(z) = 5.593 \text{ V.}$$

Tablero C: cable 1 + cable 3

$V(r) =$	5.469	V.
$V(x) =$	1.175	V.
$V(z) =$	5.593	V.

Tomacorrientes de C: cable 1+cable2 + cable7

$V(r) =$	9.778	V.
$V(x) =$	3.04	V.
$V(z) =$	10.239	V.

Tablero D: cable 1 + cable 2 + cable 4

$V(r) =$	6.853	V.
$V(x) =$	6.610	V.
$V(z) =$	9.52	V.

Tablero E: cable 1+ cable 2 + cable 5

$V(r) =$	7.136	V.
$V(x) =$	3.668	V.
$V(z) =$	8.024	V.

Tablero F: cable 1 + cable 2 + cable 6

$V(r) =$	9.598	V.
$V(x) =$	3.284	V.
$V(z) =$	10.144	V.

Tablero G: cable 1+ cable 2 + cable 6 + cable 8

$V(r) =$	12.714	V.
$V(x) =$	3.284	V.
$V(z) =$	13.131	V.

Cocina 1 : cable 1 + cable 2 + cable 6 +cable 8 + cocina cable 1

$V(r) =$	14.294	V.
$V(x) =$	3.284	V.
$V(z) =$	14.667	V.

Cocina 2 : cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 2

$V(r) =$	15.835	V.
$V(x) =$	3.284	V.
$V(z) =$	16.172	V.

Cocina 3 : cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 3

$V(r) =$	16.459	V.
$V(x) =$	3.284	V.
$V(z) =$	16.784	V.

Cocina 4 : cable 1 + cable 2 + cable 6 + cable 8 + cocina cable 4

$V(r) =$	15.759	V.
$V(x) =$	3.284	V.
$V(z) =$	16.097	V.

3.4 Cálculo de las corrientes de corto circuito

Los cálculos relacionados con las condiciones de corto circuito, caen en dos categorías. Una en aquellas se debe tomar en cuenta los dispositivos de protección adecuados. Otra en la que se debe determinar la protección de térmica de los conductores .

En ambos casos en donde las corrientes de falla en el origen de la instalación son menores que las esperadas para la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección empleados en la instalación, no es necesario hacer cálculos adicionales.

Son importantes las consideraciones, debido a que los dispositivos de protección de sobrecorriente para el circuito en cuestión, deberá brindar la protección, tanto térmica de sobre carga y de corto circuito.

Cuando se calcula la corriente de cortocircuito en el peor de los casos, el nivel más alto de falla, las impedancias deben de calcularse a temperatura ambiente debido a que la falla puede ocurrir en una instalación fría, por ejemplo, una que ha empezado a dar corriente. Para este propósito se toma como 20 grados centígrados la temperatura ambiente.

Así como la sección transversal del cable del conductor aumenta, la componente de la impedancia del cable reactancia del cable, se vuelve mayor que la componente resistiva. Para tamaños mayores, la componente de reactancia es, considerablemente mayor que la componente resistiva.

Para corregir el valor de resistencia a 20 grados centígrados para una temperatura de 115 grados centígrados, se puede usar el siguiente factor de corrección.

$$R_{115} = R_{20} \times (230 + 115) / (230 + 20) = R_{20} \times 1.38$$

Transformador: datos disponibles del fabricante

$$R_{20} = 0.00219 \text{ ohm (temperatura ambiente)} \quad R_{70} = 0.002628 \text{ ohm.}$$

$$X = 0.0086 \text{ ohm}$$

$$\text{Fórmula} = I_{Psc} = \frac{V_{ln}}{\sqrt{(R_{20})^2 + X^2}}$$

$$\text{Corriente esperada de corto circuito } I_{Psc} = \frac{260}{\sqrt{0.00219^2 + 0.0086^2}} = 29,297 \text{ A}$$

IMPEDANCIA DE LOS CABLES

El cálculo de los valores de impedancia del circuito:

$$R_{20} = \frac{r(20) \times \text{longitud del cable en metros}}{1,000 \times \text{numero de cables en paralelo}}$$

El valor de la inductancia del cable no cambia con la temperatura.

$$X = \frac{x(\text{cable}) \times \text{longitud de cable en metros}}{1,000 \times \text{número de cables en paralelo}}$$

Cable 1

$$R = \frac{r \times \text{longitud del cable en metros}}{1,000 \times \text{número de cables en paralelo}}$$

Tabla VI. Impedancia de cables

IMPEDANCIA DE LOS CABLES							
Tabla de					Número de	Valor	Valor
Cables	R	Referencia	longitud	K	conductores	R ohms	X ohms
Cable 1	0.0754	T1	6	1000	3	0.0001508	
	0.082	T1	6	1000	3		0.000164
Cable 2	0.124	T3	85	1000	2	0.005270	
	0.071	T3	85	1000	2		0.003018
Cable 3	0.387	T3	83	1000	1	0.032121	
	0.074	T3	83	1000	1		0.006142
Cable 4	0.0754	T3	55	1000	1	0.004147	
	0.071	T3	55	1000	1		0.003905
Cable 5	0.0601	T3	70	1000	1	0.004207	
	0.071	T3	70	1000	1		0.00497
Cable 6	0.268	T3	70	1000	1	0.01876	
	0.074	T3	70	1000	1		0.00518
Cable 7	0.727	T3	113	1000	1	0.082151	
	0.078	T3	113	1000	1		0.008814
Cable 8	1.83	T3	20	1000	1	0.0366	
Cocina Cable 1	12.1	T3	15	1000	1	0.1815	
Cocina Cable 2	1.83	T3	10	1000	1	0.0183	
Cocina Cable 3	1.83	T3	12	1000	1	0.02196	
Cocina Cable 4	1.83	T3	20	1000	1	0.0366	
Transformador						0.00219	
							0.0086

** Ver tabla caída de voltaje de conductores de cobre, pág. 89.

Niveles de corriente de corto circuito

Los niveles de corriente de corto circuito se han calculado en los siguientes puntos del diagrama unifilar (de la instalación).

Tablero Principal : Transformador + cable 1

$$R = 0.00219 + 0.0001508 = 0.0023408 \text{ ohm.}$$

$$X = 0.0086 + 0.000164 = 0.008764 \text{ ohm.}$$

$$I_{psc} = \frac{V_{\text{fase a neutro}}}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{260}{\sqrt{0.0023408^2 + 0.008764^2}} = 28,662.00 \text{ amp.}$$

Tabla VII. Niveles de corriente de corto circuito

Tomando los valores de R y X respectivos desde el transformador a cada ubicación de tablero					Ipsc
		R	X	Vfn	Amp.
Tablero A	Transformador + Cable1	0.00234	0.00876	260	28,662
Tablero B.	Transformador + Cable1 + Cable2	0.00761	0.011782	260	18,537
Tablero C	Transformador + Cable1 + Cable3	0.03446	0.014906	260	6,925
Tomacorrientes, de tablero C:					
	Transformador + Cable1 + Cable3+ cable 7	0.19876	0.032534	260	1,291
Tablero D	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 4	0.01176	0.015687	260	13,263
Tablero E	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 5	0.01182	0.016752	260	12,683
Tablero F	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 6	0.02637	0.016962	260	8,292
Tablero G	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 6+ Cable 8	0.06297	0.016962	260	3,987
Cocina 1	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 6+ Cable 8+cocina cable1	0.48894	0.03392	260	530
Cocina 2	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 6+ Cable 8+cocina cable 2	0.16254	0.033923	260	1,566
Cocina 3	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 6+ Cable 8+cocina cable 3	0.16986	0.033923	260	1,501
Cocina 4	Transformador + Cable1 + Cable2 + cable 6+ Cable 8+cocina cable 4	0.19914	0.033923	260	1,287

Nota: para sistemas monofásicos, la impedancia total de corto circuito consiste en la impedancia del conductor de fase y la impedancia del conductor de retorno= neutro. Asumiendo que el neutro es del mismo calibre y longitud que el conductor por fase, los valores de impedancia para el conductor por fase se pueden multiplicar por dos, para obtener los valores correctos.

$$R = 0.0034461 + 0.082151 \times 2 = 0.198763 \text{ ohm.}$$

$$X = 0.014906 + 0.008814 \times 2 = 0.032534 \text{ ohm.}$$

3.5 Criterios en la selección de interruptores

Para seleccionar un interruptor termomagnético, es necesario tomar en consideración ambas corrientes mínima y máxima de corto circuito, para seleccionar los dispositivos de protección en la instalación.

El valor de la máxima corriente sirve para seleccionar el interruptor termomagnético con un apropiado rango de protección de falla de corto circuito, el cual es más alto que las actuales corrientes de falla. Además la corriente mínima de falla sirve para asegurar la protección térmica de los conductores bajo condiciones de falla.

En este caso los interruptores se usan para proveer protección de sobre carga y corto circuito

Tabla VIII. Sumario de las corrientes de falla

Ubicación	Corriente de carga	Corriente de corto circuito
Transformador	1005 A	29,267 A
Tablero A	1005 A	28,662 A
Tablero B	377 A	18,537 A
Tablero C	80 A	6,925 A
<i>Sockets C</i>	20 A	1,291 A
Tablero D	130 A	13,263 A
Tablero E	160 A	12,683 A
Tablero F	100 A	8,292 A
Tablero G.	50 A	3,987 A
Iluminación cocina	2.1 A	530 A
Estufa 1	41 A	1,566 A
Estufa 2	41 A	1,501 A
Tomacorrientes cocina	20 A	1,287 A

El rango de los interruptores termomagnéticos presentes en el mercado se deben seleccionar de acuerdo a:

- Voltaje de operación.
- Tamaño del marco, su rango en amperios.
- Capacidad de corto circuito en kiloamperios en relación al voltaje.

Esta información generalmente la proveen los fabricantes de interruptores termomagnéticos.

La información de una tabla de interruptores termomagnéticos indica:

El tamaño del marco, su voltaje de operación, el rango en amperios, su capacidad de interrupción en corto circuito, así como sus medidas físicas.

El criterio es seleccionar interruptores termomagnéticos en este ejemplo. El rango de corriente del interruptor no debe de exceder la capacidad de conducción de corriente del conductor. Es decir, un interruptor de 400 amperios no deberá de usarse para un circuito de 20 amperios.

El disparo de sobrecarga de los interruptores para la corriente nominal, que se ha diseñado y la corriente de corto circuito, asegurará el buen uso de los mismos.

Si la sobrecarga fué fijada para la capacidad de corriente del conductor también se hace un uso correcto del interruptor.

Es menester, colocar el disparo magnético del interruptor termomagnético, al mínimo de la corriente de cortocircuito, en el punto más lejano del circuito de distribución. Este será el caso cuando ocurre un corto circuito entre fases o entre fase y neutro.

La discriminación alcanzada entre circuitos, significa que en el caso que suceda un evento de falla, únicamente el interruptor termomagnético que está protegiendo el circuito fallado se dispara y todos los interruptores corriente arriba, no se ven afectados por la falla.

Discusión de los circuitos.

Los tomacorrientes de la **Cocina 4 y el cable 7** del tablero **C** son protegidos con los interruptores de tipo FI30-FAZL20. Las características de disparo del FAZL-20 aplican para este dispositivo. Operará en 4 milisegundos. Esto es adecuado, el interruptor tiene un rango de corriente de cortocircuito de 10,000 amp. o bien 10KA, el cual es mayor que la corriente máxima de cortocircuito de 6,925 Amperios en el tablero C.

Los circuitos finales, **Cocina 2 y Cocina 3**, para protegerlos se usarán los interruptores termomagnéticos FAZG 50-N. Nuevamente el interruptor se dispara en 4 milisegundos. El interruptor tiene un rango de cortocircuito de 10,000 amperios el cual es mayor que la máxima corriente de cortocircuito de 3,989 amperios.

El circuito de iluminación, **Cocina 1**, se protegerá con un interruptor tipo FAZB 6-N. El interruptor se disparará dentro de los cuatro milisegundos. Su rango de corriente de cortocircuito de 10,000 amperios, que es mucho mayor que la corriente de cortocircuito de 3,987 amperios .

El circuito Cable 8 se protegerá con un interruptor del tipo NZM4-63. El disparo magnético opera en 10 milisegundos. El interruptor tiene un rango de 12,000 amperios, lo cual es mayor que la máxima corriente de cortocircuito de 8,292 amperios, en el tablero G. El rango de sobrecarga es de 40 a 63 amperios.

El cable 6 se protege con un interruptor principal tipo NZM11-400/ZM11V-400. La sobrecarga térmica del disparo no estándar se ajusta para 130 amperios. Su rango de disparo por sobre carga puede graduarse desde 130 hasta 400 amperios.

Un retardo de tiempo se usa para discriminar entre la falla corriente abajo en el cable 8 de 3,987 amperios.

Usando un retardo de tiempo de 50 milisegundos, el interruptor corriente abajo puede despejar la falla corriente abajo dentro de un tiempo de 10 milisegundos sin afectar los interruptores corriente arriba. El disparo magnético opera dentro de 50 milisegundos.

El rango de corriente de corto circuito del interruptor principal a usar, es de 40,000 amperios, el cual es mayor que la corriente máxima de cortocircuito de 18,536 amperos en el tablero B.

Cables 4 y 5, son protegidos por un interruptor principal del tipo NZM6-200/ZM6-200. La sobrecarga térmica se ajusta para 140 y 170 amperios, respectivamente. El rango de ajuste de sobrecarga es de 140 a 200 amperios. Ajuste por corto circuito de 1,000 a 1,900 amperios. El disparo termomagnético opera en 10 milisegundos.

Cable 2 se protege con un interruptor principal del tipo NZM11-630/ZM11V-630. La sobrecarga térmica se ajusta para 420 amperios. El rango de ajuste de sobre carga es de 315 a 630 amperios. Un retardo de tiempo se usa para las corrientes de falla, para discriminar entre: la corriente de falla corriente abajo de 13,263 amperios.

Usando un retardo de tiempo de 50 milisegundos el interruptor corriente abajo de los cables 4 y 5 puede despejar la falla dentro de 10 milisegundos sin afectar al interruptor corriente arriba. El disparo magnético opera dentro de 50 milisegundos. El interruptor está con un rango de corriente de cortocircuito de 40,000 amperios la cual es mayor que la corriente máxima de corto circuito de 28,662 amperios en el tablero A.

Cable 3. Se protegerá con un interruptor principal del tipo NZMS6-125/ZM6-125. La sobrecarga térmica se ajusta para 83 amperios y el disparo magnético opera dentro de 10 milisegundos. El interruptor a usar tiene una corriente de cortocircuito de 65,000 amperios, la cual es mucho mayor que la corriente esperada de cortocircuito de 28,662 amperios en el tablero A. La selectividad del interruptor se asegura por el tiempo de disparo de 10 milisegundos.

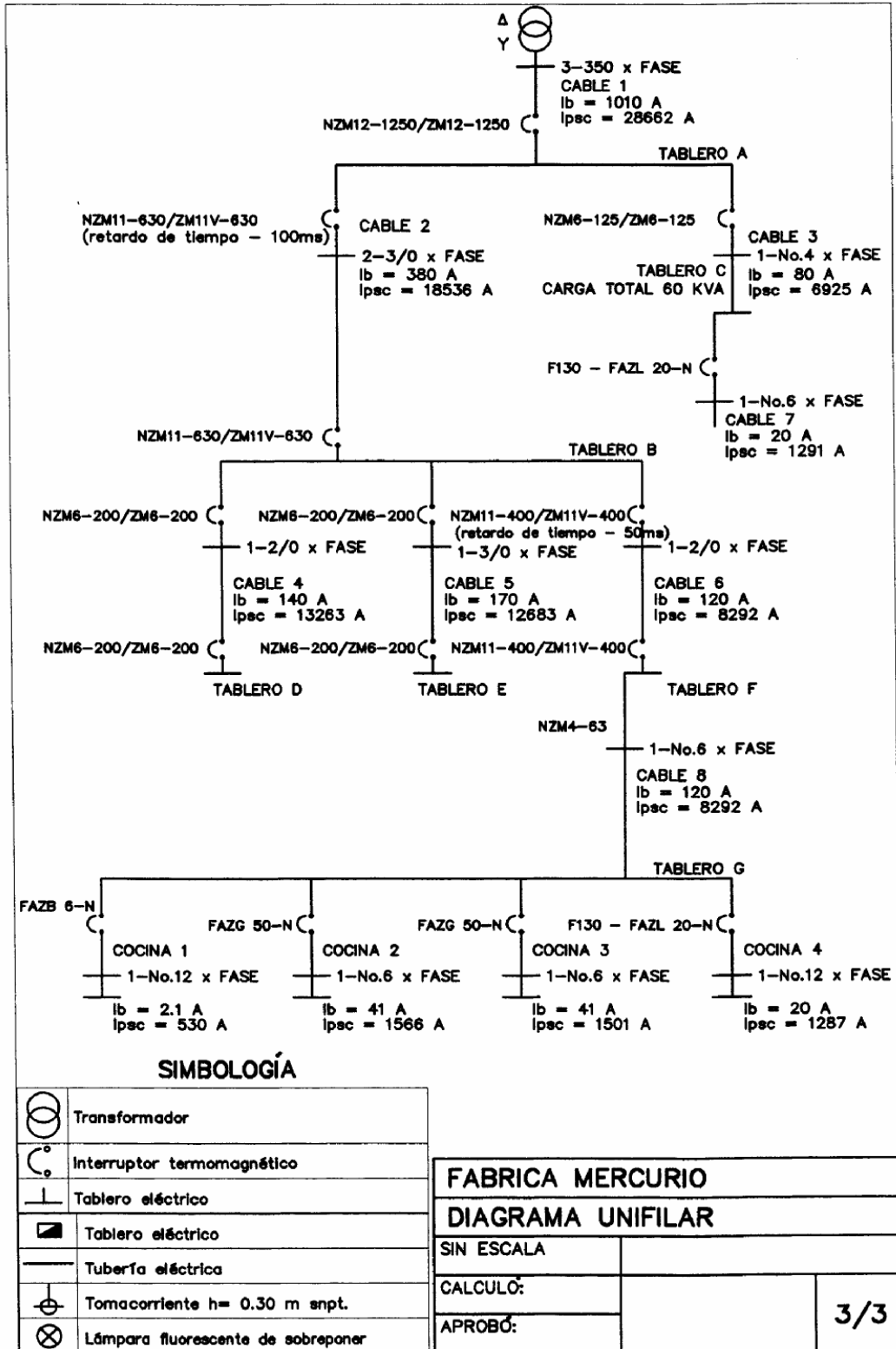
Cable 1. Se protegerá con un interruptor principal de 1,250 amperios, del tipo NZM12-1250/ZM12-1250. La sobrecarga térmica tiene un rango de 630 a 1,250 amperios, y se ajusta para 1,250 amperios.

El disparo magnético opera dentro de 40 milisegundos. El interruptor tiene un rango de corriente de cortocircuito de 100,000 amp. O bien de 100KA, la cual es mucho mayor que la corriente de cortocircuito de 28,662 amperios en el tablero A. El rango de corriente obedece a la protección del transformador de 1,000 KVA.

Los interruptores descritos, se han seleccionado en base a la corriente nominal y su corriente de cortocircuito, se usan en particular los *Klockner Moeller*.

Finalmente se presenta en un diagrama unifilar los interruptores a usar según la discusión de los circuitos.

Plano figura 3/3



CONCLUSIONES

1. Es necesario para cada aplicación en particular, hacer el estudio para la correcta aplicación de los interruptores termomagnéticos, para obtener la protección correcta de los conductores y equipos, de una instalación. Se puede incluso recurrir a programas de computación cuando fuese extremadamente compleja la instalación.
2. Existen interruptores para cada aplicación desde valores de corriente de 15 amperios hasta los rangos de 5,000 amperios . Van desde una aplicación sencilla hasta interruptores inteligentes con memoria, autodiagnóstico, memoria de eventos, etc. Los interruptores con unidades de disparo intercambiables facilitan el aumento de capacidad del manejo de corriente sin necesidad de cambiar el marco del interruptor, es decir, su *frame size*.
3. Las unidades electrónicas de disparo de los interruptores son compactas, desde una unidad simple hasta una sofisticada, permiten una gama de ajustes, para variar las características del interruptor.
4. Para una protección eficaz es necesario aislar el circuito bajo falla del resto de una instalación eléctrica. Con la protección selectiva se logra que sólo el circuito bajo falla quede aislado sin provocar disturbios en otras partes del sistema eléctrico. Se logra una mejor versatilidad de coordinación con interruptores termomagnéticos con disparo electrónico.

5. Un sistema diseñado correctamente permite que únicamente el dispositivo de protección más cercano a la falla se abra o accione, mientras que el resto del sistema permanece estable y con servicio continuo, lo cual se logra mediante una coordinación, aislando el circuito bajo falla del resto del sistema evitando cortes de energía innecesarios.

RECOMENDACIONES

1. Los interruptores termomagnéticos deberán de usarse siempre, desde la protección principal así como en protecciones ramales, ya que protegen para sobre carga y cortocircuito. Tienen la ventaja que al ocurrir una falla se puede restablecer la operación.
2. Los interruptores termomagnéticos se usan en variedad de aplicaciones, en paneles de control, centros de control de motores, tableros de distribución, etc. Se recomiendan también para evitar el riesgo de alimentación monofásica a cargas trifásicas.
3. Al usar los interruptores termomagnéticos, se mejora la coordinación, por el cambio de los dispositivos de disparo, en el caso de los interruptores electrónicos.
4. Se recomienda usar interruptores termomagnéticos, con ajuste de la corriente nominal, para ampliaciones futuras, es decir dentro del mismo tamaño del marco, proveen capacidad para futuros crecimiento = ampliaciones. (ajustes de corriente nominal, cambio de corriente nominal).
5. Se recomienda que exista coordinación en la instalación por medio de los interruptores termomagnéticos para aislar un circuito bajo falla del resto del sistema.

6. Se sugiere utilizar los interruptores termomagnéticos con disparo electrónico en donde se justifique su precio, en relación con los estándares, que son más baratos, para brindar una mejor versatilidad en la coordinación y en la protección de equipos caros o procesos especiales de fabricación.
7. Con los interruptores electrónicos se tiene la facilidad de aumentar la capacidad nominal de un circuito aún después de haber sido instalado el interruptor, por medio de la unidad de disparo que es intercambiable.
8. Es importante calcular las corrientes de corto circuito que puedan presentarse en distintos puntos del sistema eléctrico.
9. Ejecutar un plano de diagrama unifilar, para luego indicar en el plano final el tipo de interruptor termomagnético a usar.
10. Debido a los avances en la tecnología los interruptores termomagnéticos, adicional a sus características intrínsecas, ofrecen cada vez, más ventajas como lecturas de corriente por fase y corriente máxima, el voltaje de operación. Los más sofisticados monitorean la calidad de energía eléctrica, almacenando en su memoria las fallas, sobrecargas, disparos por corto circuito, armónicos de voltaje y corriente, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beeman, Donald. **Industrial Power Handbook**, McGraw-Hill Book Company Inc. 189 p.p.
2. **Electric Power Distribution for industrial plants**. Third Edition. IEEE Book Company. 149 p.p.
3. **Electric Systems for Commercial Buildings**. IEEE Book Company. 287 p.p.
4. Electrical Protection Handbook. **Mc-Graw- Edison. SDE**
5. **Engineering Dependable Protection for an Electrical Distribution System. A simple approach to short Circuit Calculations**. 1,973 McGraw-Edison. 87 p.p.
6. Engineering Dependable Protection for an Electrical Distribution System, Selective Coordination of Overcurrent Protective Devices for Low Voltage Systems. 1,973 **McGraw Edison**.
7. **Engineering Dependable Protection for an Electrical Distribution System Component Protection for Electrical Systems**. 1,975 McGraw-Edison.
8. Freund, Arthur. **Overcurrent Protection**, McGraw-Hill Book Company Inc. 76p.p.
9. **General Electric. Molded Case Circuit Breakers**. 87 p.p.
10. Requirements for electrical Installations. **IEE Wiring Regulation**. 16th Ed. 266 p.p. 1,992
11. Roe, B., Lionel. **Practices & Procedures of Industrial Electric Design**. McGraw-Hill Book Company Inc. SDE
12. **Schneider Electric. Masterpact Merlin Gerin**, 115 .p.p. SDE.
13. **SIEMENS, SDE Overload and Short-Circuit Protection in low voltage Installations**.

Tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4B1

Correction factors for groups of more than one circuit of single-core cables, or more than one multicore cable (to be applied to the corresponding current-carrying capacity for a single circuit in Tables 4D1 to 4D4, 4E1 to 4E4, 4F1 and 4F2, 4J1, 4K1 to 4K4, 4L1 to 4L4)**

Reference method of installation (see Table 4A)		Correction factor (C_p)													
		Number of circuits or multicore cables													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Enclosed (Method 3 or 4) or bunched and clipped direct to a non-metallic surface (Method 1)		0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38
Single layer clipped to a non-metallic surface (Method 1)	Touching	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	—	—	—	—	—	—
	Spaced*	0.94	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Single layer multicore on a perforated metal cable tray, vertical or horizontal (Method 11)	Touching	0.86	0.81	0.77	0.75	0.74	0.73	0.73	0.72	0.71	0.70	—	—	—	—
	Spaced* #	0.91	0.89	0.88	0.87	0.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single layer single-core on a perforated metal cable tray, touching (Method 11)	Horizontal	0.90	0.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Vertical	0.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single layer multicore touching on ladder supports (Method 13)		0.86	0.82	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.77	—	—	—	—	—	—

* Spaced by a clearance between adjacent surfaces of at least one cable diameter (D_c). Where the horizontal clearances between adjacent cables exceeds $2D_c$, no correction factor need be applied.

Not applicable to Mineral Insulated Cables see Table 4B2.

** When cables having differing conductor operating temperatures are grouped together, the current rating shall be based upon the lowest operating temperature of any cable in the group.

TABLE 4B2

Correction factors for mineral insulated cables installed on perforated tray, (to be applied to the corresponding current-carrying capacity for single circuits for reference method 11 in Table 4J1A)

Tray Orientation	Arrangement of cables	Number of Trays	Number of multicore cables or circuits						
			1	2	3	4	6	9	
Horizontal	Multiconductor cables touching	1	1.0	0.90	0.80	0.80	0.75	0.75	
Horizontal	Multiconductor cables spaced‡	1	1.0	1.0	1.0	0.95	0.90	—	
Vertical	Multiconductor cables touching	1	1.0	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	
Vertical	Multiconductor cables spaced‡	1	1.0	0.90	0.90	0.90	0.85	—	
Horizontal	Single conductor cables trefoil separated‡‡	1	1.0	1.0	0.95				
Vertical	Single conductor cables trefoil separated‡‡	1	1.0	0.90	0.90				

‡‡ Separated by a clearance between adjacent surfaces of at least two cable diameters ($2D_c$).

‡ Spaced by a clearance between adjacent surfaces of at least one cable diameter (D_c).

Notes to Tables 4B1 and 4B2

- The factors in the Table are applicable to groups of cables all of one size. The value of current derived from application of the appropriate factors is the maximum current to be carried by any of the cables in the group.
- If, due to known operating conditions, a cable is expected to carry not more than 30% of its grouped rating, it may be ignored for the purpose of obtaining the rating factor for the rest of the group.
For example, a group of N loaded cables would normally require a group reduction factor of C_p applied to the tabulated I_c . However, if M cables in the group carry loads which are not greater than 0.3 $C_p I_c$ amperes the other cables can be sized by using the group rating factor corresponding to (N-M) cables.
- When cables having differing conductor operating temperatures are grouped together, the current rating shall be based on the lowest operating temperature of any cable in the group.
- Where the horizontal clearances between adjacent cables exceeds $2D_c$, no correction factor need be applied.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4B3

Correction factors for cables installed in enclosed trenches
(Installation Methods 18, 19 and 20 of Table 4A)*

The correction factors tabulated below relate to the disposition of cables illustrated in items 18 to 20 of Table 4A and are applicable to the current-carrying capacities for Reference Methods 12 or 13 of Table 4A as given in the relevant tables of this appendix.

Correction factors

Conductor cross-sectional area	Installation Method 18				Installation Method 19			Installation Method 20		
	2 single-core cables, or 1 three- or four-core cable	3 single-core cables, or 2 two-core cables	4 single-core cables, or 2 three- or four-core cables	6 single-core cables, 4 two-core cables, or 3 three- or four-core cables	6 single-core cables, 4 two-core cables, or 3 three- or four-core cables	8 single-core cables, or 4 three- or four-core cables	12 single-core cables, 8 two-core cables, or 6 three- or four-core cables	12 single-core cables, 8 two-core cables, or 6 three- or four-core cables	18 single-core cables, 12 two-core cables, or 9 three- or four-core cables	24 single-core cables, 16 two-core cables, or 12 three- or four-core cables
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
mm ²										
4	0.93	0.90	0.87	0.82	0.86	0.83	0.76	0.81	0.74	0.69
6	0.92	0.89	0.86	0.81	0.86	0.82	0.75	0.80	0.73	0.68
10	0.91	0.88	0.85	0.80	0.85	0.80	0.74	0.78	0.72	0.66
16	0.91	0.87	0.84	0.78	0.83	0.78	0.71	0.76	0.70	0.64
25	0.90	0.86	0.82	0.76	0.81	0.76	0.69	0.74	0.67	0.62
35	0.89	0.85	0.81	0.75	0.80	0.74	0.68	0.72	0.66	0.60
50	0.88	0.84	0.79	0.74	0.78	0.73	0.66	0.71	0.64	0.59
70	0.87	0.82	0.78	0.72	0.77	0.72	0.64	0.70	0.62	0.57
95	0.86	0.81	0.76	0.70	0.75	0.70	0.63	0.68	0.60	0.55
120	0.85	0.80	0.75	0.69	0.73	0.68	0.61	0.66	0.58	0.53
150	0.84	0.78	0.74	0.67	0.72	0.67	0.59	0.64	0.57	0.51
185	0.83	0.77	0.73	0.65	0.70	0.65	0.58	0.63	0.55	0.49
240	0.82	0.76	0.71	0.63	0.69	0.63	0.56	0.61	0.53	0.48
300	0.81	0.74	0.69	0.62	0.68	0.62	0.54	0.59	0.52	0.46
400	0.80	0.73	0.67	0.59	0.66	0.60	0.52	0.57	0.50	0.44
500	0.78	0.72	0.66	0.58	0.64	0.58	0.51	0.56	0.48	0.43
630	0.77	0.71	0.65	0.56	0.63	0.57	0.49	0.54	0.47	0.41

*When cables having different conductor operating temperatures are grouped together the current rating shall be based on the lowest operating temperature of any cable in the group.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4C1

Correction factors for ambient temperature where protection is against short-circuit

NOTE: This table applies where the associated overcurrent protective device is intended to provide short-circuit protection only. Except where the device is a semi-enclosed fuse to BS 3036 the table also applies where the device is intended to provide overload protection.

Type of insulation	Operating temperature	Ambient temperature °C														
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Rubber (flexible cables only)	60°C	1.04	1.0	0.91	0.82	0.71	0.58	0.41	—	—	—	—	—	—	—	—
General purpose p.v.c.	70°C	1.03	1.0	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	0.35	—	—	—	—	—	—
Paper	80°C	1.02	1.0	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45	0.32	—	—	—	—
Rubber	85°C	1.02	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.74	0.67	0.60	0.52	0.43	0.30	—	—	—
Heat resisting p.v.c.*	85°C	1.03	1.0	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84	0.79	0.71	0.61	0.50	0.35	—	—	—
Thermosetting	90°C	1.02	1.0	0.96	0.91	0.87	0.82	0.76	0.71	0.65	0.58	0.50	0.41	0.29	—	—
Mineral	70°C sheath	1.03	1.0	0.93	0.85	0.77	0.67	0.57	0.45	0.31	—	—	—	—	—	—
	105°C sheath	1.02	1.0	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.54	0.47	0.40	0.32

NOTE:

1. Correction factors for flexible cords and for 85°C or 150°C rubber-insulated flexible cables are given in the relevant table of current-carrying capacity.
 2. This table also applies when determining the current-carrying capacity of a cable.
- *These factors are applicable only to ratings in columns 2 to 5 of Table 4D1.

TABLE 4C2

Correction factors for ambient temperature where the overload protective device is a semi-enclosed fuse to BS 3036.

Type of insulation	Operating temperature	Ambient temperature °C														
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Rubber (flexible cables only)	60°C	1.04	1.0	0.96	0.91	0.87	0.79	0.56	—	—	—	—	—	—	—	—
General purpose p.v.c.	70°C	1.03	1.0	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84	0.69	0.48	—	—	—	—	—	—
Paper	80°C	1.02	1.0	0.97	0.95	0.92	0.90	0.87	0.84	0.76	0.62	0.43	—	—	—	—
Rubber	85°C	1.02	1.0	0.97	0.95	0.93	0.91	0.88	0.86	0.83	0.71	0.58	0.41	—	—	—
Heat resisting p.v.c.*	85°C	1.03	1.0	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84	0.80	0.76	0.72	0.68	0.49	—	—	—
Thermosetting	90°C	1.02	1.0	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.79	0.69	0.56	0.39	—	—
Mineral: Bare and exposed to touch or p.v.c. covered	70°C sheath	1.03	1.0	0.96	0.93	0.89	0.86	0.79	0.62	0.42	—	—	—	—	—	—
	Bare and not exposed to touch	1.02	1.0	0.98	0.96	0.93	0.91	0.89	0.86	0.84	0.82	0.79	0.77	0.64	0.55	0.43

NOTE: Correction factors for flexible cords and for 85°C or 150°C rubber-insulated flexible cables are given in the relevant table of current-carrying capacity.

* These factors are applicable only to ratings in columns 2 to 5 of Table 4D1.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4D1A

Single-core p.v.c.-insulated cables, non-armoured, with or without sheath
(COPPER CONDUCTORS)

CURRENT-CARRYING CAPACITY (Amperes):
BS 6004
BS 6231
BS 6346
Ambient temperature: 30°C
Conductor operating temperature: 70°C

Conductor cross-sectional area	Reference Method 4 (enclosed in conduit in thermally insulating wall etc.)		Reference Method 3 (enclosed in conduit on a wall or in trunking etc.)		Reference Method 1 (clipped direct)		Reference Method 11 (on a perforated cable tray horizontal or vertical)		Reference Method 12 (free air)		
	2 cables, single-phase a.c. or d.c.	3 or 4 cables, three-phase a.c.	2 cables, single-phase a.c. or d.c.	3 or 4 cables, three-phase a.c. flat and touching or trefoil	2 cables, single-phase a.c. or d.c. flat and touching	3 or 4 cables, three-phase a.c. flat and touching or trefoil	2 cables, single-phase a.c. or d.c. flat and touching	3 or 4 cables, three-phase a.c. flat and touching or trefoil	Horizontal flat spaced	Vertical flat spaced	Trefoil
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm ²	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
11	10.5	13.5	12	15.5	15.5	14	-	-	-	-	-
1.5	14.5	17.5	17.5	20	20	18	-	-	-	-	-
2.5	19.5	24	24	21	27	25	-	-	-	-	-
4	26	32	32	28	37	33	-	-	-	-	-
6	34	41	41	36	47	43	-	-	-	-	-
10	46	57	57	50	65	59	-	-	-	-	-
16	61	76	76	68	87	79	-	-	-	-	-
25	80	101	101	89	114	104	126	112	146	130	110
35	99	125	125	110	141	129	156	141	181	162	137
50	119	151	151	134	182	167	191	172	219	197	167
70	151	192	192	171	234	214	246	223	281	254	216
95	182	232	232	207	284	261	300	273	341	311	264
120	210	269	269	239	330	303	349	318	396	362	308
150	240	300	300	262	381	349	404	369	456	419	356
185	273	341	341	296	436	400	463	424	521	480	409
240	320	400	400	346	515	472	549	504	615	569	485
300	367	458	458	394	594	545	635	584	709	659	561
400	-	546	546	467	694	634	732	679	852	795	656
500	-	626	626	533	792	723	835	778	982	920	749
630	-	720	720	611	904	826	953	892	1138	1070	855
800	-	-	-	-	1030	943	1086	1020	1265	1188	971
1000	-	-	-	-	1154	1058	1216	1149	1420	1337	1079

NOTE: WHERE THE CONDUCTOR IS TO BE PROTECTED BY A SEMI-ENCLOSED FUSE TO BS 3036, SEE ITEM 6.2 OF THE PREFACE TO THIS APPENDIX.

The current-carrying capacities in columns 2 to 5 are also applicable to flexible cables to BS 6004 table 1(c) and to 85°C heat resisting p.v.c. cables to BS 6231 where the cables are used in fixed installations.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4D1B

Conductor cross-sectional area		Conductor operating temperature: 70°C																				
		2 cables — single-phase a.c.				3 or 4 cables — three-phase a.c.				Reference Method 12 (Flat spaced*)												
2 cables d.c.		Reference Methods 3 & 4 (Enclosed in conduit etc. in or on a wall)			Reference Methods 1 & 11 (Clipped direct or on trays, touching)			Reference Method 12 (Spaced*)			Reference Methods 3 & 4 (Enclosed in conduit etc. in or on a wall)			Reference Methods 1, 11 & 12 (In trefoil)			Reference Methods 1 & 11 (Flat and touching)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
mm ²	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV
1	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
1.5	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
2.5	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
6	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
10	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
16	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
25	1.75	1.80	0.33	1.80	0.47	0.185	0.50	0.27	0.54	0.42	0.24	0.48	0.41	0.155	0.43	0.41	0.23	0.47	0.40	0.31	0.51	0.51
35	1.25	1.30	0.31	1.30	0.29	0.28	1.10	0.27	1.10	0.27	1.10	0.27	1.10	0.170	1.10	0.170	1.10	0.24	1.10	0.32	1.15	1.15
50	0.93	0.95	0.30	1.00	0.25	0.28	0.95	0.26	0.85	0.22	0.23	0.32	0.26	0.165	0.82	0.165	0.24	0.84	0.80	0.32	0.86	0.86
70	0.63	0.65	0.29	0.72	0.21	0.27	0.66	0.25	0.61	0.17	0.23	0.29	0.160	0.160	0.57	0.55	0.24	0.60	0.55	0.31	0.63	0.63
95	0.46	0.49	0.28	0.56	0.15	0.27	0.50	0.24	0.48	0.14	0.23	0.27	0.130	0.140	0.43	0.41	0.23	0.47	0.40	0.31	0.51	0.51
120	0.36	0.39	0.27	0.47	0.115	0.26	0.41	0.23	0.41	0.12	0.22	0.25	0.105	0.140	0.36	0.32	0.23	0.40	0.32	0.30	0.44	0.44
150	0.29	0.31	0.27	0.41	0.093	0.26	0.34	0.23	0.36	0.10	0.22	0.25	0.086	0.135	0.30	0.26	0.23	0.34	0.26	0.30	0.40	0.40
185	0.23	0.25	0.27	0.37	0.081	0.24	0.29	0.22	0.32	0.08	0.22	0.24	0.072	0.135	0.26	0.21	0.22	0.31	0.21	0.30	0.36	0.36
240	0.180	0.195	0.26	0.33	0.068	0.25	0.25	0.185	0.31	0.059	0.24	0.25	0.060	0.130	0.22	0.160	0.22	0.27	0.160	0.29	0.34	0.34
300	0.145	0.160	0.26	0.31	0.059	0.165	0.22	0.150	0.29	0.050	0.24	0.24	0.052	0.130	0.190	0.130	0.22	0.25	0.130	0.29	0.32	0.32
400	0.105	0.130	0.26	0.29	0.050	0.20	0.20	0.115	0.27	0.042	0.24	0.24	0.042	0.140	0.175	0.105	0.21	0.24	0.100	0.29	0.31	0.31
500	0.086	0.110	0.26	0.28	0.042	0.185	0.185	0.093	0.24	0.035	0.24	0.24	0.035	0.135	0.160	0.086	0.21	0.23	0.081	0.29	0.30	0.30
630	0.068	0.094	0.25	0.27	0.035	0.175	0.175	0.076	0.24	0.028	0.24	0.24	0.028	0.135	0.150	0.066	0.21	0.22	0.066	0.28	0.29	0.29
800	0.053	0.075	0.25	0.27	0.028	0.165	0.165	0.061	0.24	0.022	0.24	0.24	0.022	0.130	0.145	0.053	0.21	0.22	0.053	0.28	0.29	0.29
1000	0.042	0.059	0.25	0.27	0.022	0.160	0.160	0.050	0.24	0.018	0.24	0.24	0.018	0.130	0.140	0.042	0.20	0.21	0.044	0.28	0.28	0.28

*NOTE: Spacings larger than those specified in Method 12 (see table 4A) will result in larger voltage drop.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4D2A

Multicore p.v.c.-insulated cables, non-armoured
(COPPER CONDUCTORS)

BS 6004
BS 6346

Ambient temperature: 30°C
Conductor operating temperature: 70°C

CURRENT-CARRYING CAPACITY (Amperes):

Conductor cross-sectional area	Reference Method 4 (enclosed in an insulated wall, etc.)		Reference Method 3 (enclosed in conduit on a wall or ceiling, or in trunking)		Reference Method 1 (clipped direct)		Reference Method 11 (on a perforated cable tray), or Reference Method 13 (free air)	
	1 two-core single-phase a.c. or d.c.	1 three-core cable* or 1 four-core cable, three-phase a.c.	1 two-core cable*, single-phase a.c. or d.c.	1 three-core cable*, or 1 four-core cable, three-phase a.c.	1 two-core cable*, single-phase a.c. or d.c.	1 three-core cable*, or 1 four-core cable, three-phase a.c.	1 two-core cable*, single-phase a.c. or d.c.	1 three-core cable*, or 1 four-core cable, three-phase a.c.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
mm ²	A	A	A	A	A	A	A	A
1	11	10	13	11.5	15	13.5	17	14.5
1.5	14	13	16.5	15	19.5	17.5	22	18.5
2.5	18.5	17.5	23	20	27	24	30	25
4	25	23	30	27	36	32	40	34
6	32	29	38	34	46	41	51	43
10	43	39	52	46	63	57	70	60
16	57	52	69	62	85	76	94	80
25	75	68	90	80	112	96	119	101
35	92	83	111	99	138	119	148	126
50	110	99	133	118	168	144	180	153
70	139	125	168	149	213	184	232	196
95	167	150	201	179	258	223	282	238
120	192	172	232	206	299	259	328	276
150	219	196	258	225	344	299	379	319
185	248	223	294	255	392	341	434	364
240	291	261	344	297	461	403	514	430
300	334	298	394	339	530	464	593	497
400	—	—	470	402	634	557	715	597

* With or without protective conductor.

Circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors.

NOTE: WHERE THE CONDUCTOR IS TO BE PROTECTED BY A SEMI-ENCLOSED FUSE TO BS 3036, SEE ITEM 6.2 OF THE PREFACE TO THIS APPENDIX.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4D4A

Multicore armoured p.v.c.-insulated cables
(COPPER CONDUCTORS)

BS 6346

CURRENT-CARRYING CAPACITY (Amperes): Ambient temperature: 30°C
Conductor operating temperature: 70°C

Conductor cross-sectional area	Reference Method 1 (clipped direct)		Reference Method 11 (on a perforated horizontal or vertical cable tray), or Reference Method 13 (free air)
	1 two-core cable, single-phase a.c. or d.c.	1 three- or four-core cable, three-phase a.c.	
1	2	3	5
mm ²	A	A	A
1.5	21	18	19
2.5	28	25	26
4	38	33	35
6	49	42	45
10	67	58	62
16	89	77	83
25	118	102	110
35	145	125	135
50	175	151	163
70	222	192	207
95	269	231	251
120	310	267	290
150	356	306	332
185	405	348	378
240	476	409	445
300	547	469	510
400	621	540	590
			683

NOTE: Where the conductor is to be protected by a semi-enclosed fuse to BS 3036, see Item 6.2 of the Preface to this Appendix.

Continuación tabla IX. Factores de corrección

TABLE 4D4B

VOLTAGE DROP (per ampere per metre):

Conductor operating temperature: 70°C

Conductor cross-sectional area 1	Two-core cable d.c. 2	Two-core cable single-phase a.c. 3			Three-or four-core cable three-phase a.c. 4		
mm ²	mV	mV			mV		
1.5	29	29			25		
2.5	18	18			15		
4	11	11			9.5		
6	7.3	7.3			6.4		
10	4.4	4.4			3.8		
16	2.8	2.8			2.4		
		r	x	z	r	x	z
25	1.75	1.75	0.170	1.75	1.50	0.145	1.50
35	1.25	1.25	0.165	1.25	1.10	0.145	1.10
50	0.93	0.93	0.165	0.94	0.80	0.140	0.81
70	0.63	0.63	0.160	0.65	0.55	0.140	0.57
95	0.46	0.47	0.155	0.50	0.41	0.135	0.43
120	0.36	0.38	0.155	0.41	0.33	0.135	0.35
150	0.29	0.30	0.155	0.34	0.26	0.130	0.29
185	0.23	0.25	0.150	0.29	0.21	0.130	0.25
240	0.180	0.190	0.150	0.24	0.165	0.130	0.21
300	0.145	0.155	0.145	0.21	0.135	0.130	0.185
400	0.105	0.115	0.145	0.185	0.100	0.125	0.160

Tabla X. Caída de voltaje en conductores de cobre

Technical data



Voltage drop data for copper conductors

Table 1 600/1000 volt single core

Nominal area of conductor	Maximum d.c. resistance at 20°C	Maximum a.c. resistance at 90°C	Approximate reactance at 50 Hz		Approx. voltage drop
			Unarmoured ohm/km	Armoured ohm/km	
mm ²	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	mV/A/m
50	0.387	0.494	0.093	0.110	0.87
70	0.268	0.342	0.090	0.106	0.62
95	0.193	0.247	0.087	0.102	0.46
120	0.153	0.196	0.084	0.099	0.38
150	0.124	0.159	0.084	0.099	0.32
185	0.0991	0.128	0.083	0.097	0.27
240	0.0754	0.097	0.082	0.094	0.23
300	0.0601	0.080	0.081	0.092	0.21
400	0.0470	0.064	0.080	0.091	0.19
500	0.0366	0.051	0.079	0.089	0.18
630	0.0283	0.042	0.078	0.087	0.17
800	0.0221	0.033	0.085	0.095	0.17

Table 2 600/1000 volt twin core

Nominal area of conductor	Maximum d.c. resistance at 20 °C	Maximum a.c. resistance at 90 °C	Approximate reactance at 50 Hz	Approx. voltage drop
16	1.15	1.47	0.080	2.9
25	0.727	0.927	0.078	1.9
35	0.524	0.669	0.076	1.4
50	0.387	0.494	0.074	1.0
70	0.268	0.342	0.074	0.70
95	0.193	0.247	0.072	0.51
120	0.153	0.196	0.071	0.42
150	0.124	0.159	0.071	0.35
185	0.0991	0.128	0.071	0.29
240	0.0754	0.097	0.071	0.24
300	0.0601	0.080	0.071	0.22

Note: Reactance and voltage drop values given above are for three cables installed in trefoil formation.

Table 3 600/1000 volt three core

Nominal area of conductor	Maximum d.c. resistance at 20°C	Maximum a.c. resistance at 90°C	Approximate reactance at 50 Hz	Approx. voltage drop
16	1.15	1.47	0.080	2.5
25	0.727	0.927	0.078	1.6
35	0.524	0.669	0.076	1.2
50	0.387	0.494	0.074	0.87
70	0.268	0.342	0.074	0.61
95	0.193	0.247	0.072	0.44
120	0.153	0.196	0.071	0.36
150	0.124	0.159	0.071	0.30
185	0.0991	0.128	0.071	0.25
240	0.0754	0.097	0.071	0.21
300	0.0601	0.080	0.071	0.19

Table 4 600/1000 volt four core

Nominal area of conductor	Maximum d.c. resistance at 20°C	Maximum a.c. resistance at 90°C	Approximate reactance at 50 Hz	Approx. voltage drop
16	1.15	1.47	0.081	2.5
25	0.727	0.927	0.078	1.6
35	0.524	0.669	0.076	1.2
50	0.387	0.494	0.074	0.87
70	0.268	0.342	0.074	0.61
95	0.193	0.247	0.072	0.44
120	0.153	0.196	0.071	0.36
150	0.124	0.158	0.071	0.30
185	0.0991	0.127	0.071	0.25
240	0.0754	0.099	0.071	0.21
300	0.0601	0.080	0.071	0.19

Table 5 600/1000 volt four core (reduced neutral)

Nominal area of conductor	Maximum d.c. resistance at 20°C		Maximum a.c. resistance at 90°C		Approximate reactance at 50 Hz	Approx. voltage drop
	Phase	Neutral	Phase	Neutral		
mm ²	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	mV/A/m
25	16	0.727	1.15	0.927	0.081	2.5
35	16	0.524	1.15	0.669	0.078	1.6
50	25	0.387	0.727	0.494	0.076	1.2
70	35	0.268	0.524	0.342	0.074	0.87
95	50	0.193	0.387	0.247	0.074	0.61
120	70	0.153	0.268	0.196	0.072	0.44
150	70	0.124	0.268	0.158	0.071	0.36
185	95	0.0991	0.193	0.127	0.071	0.30
240	120	0.0754	0.153	0.099	0.071	0.25
300	150	0.0601	0.124	0.080	0.071	0.21
300	185	0.0601	0.0991	0.080	0.071	0.19