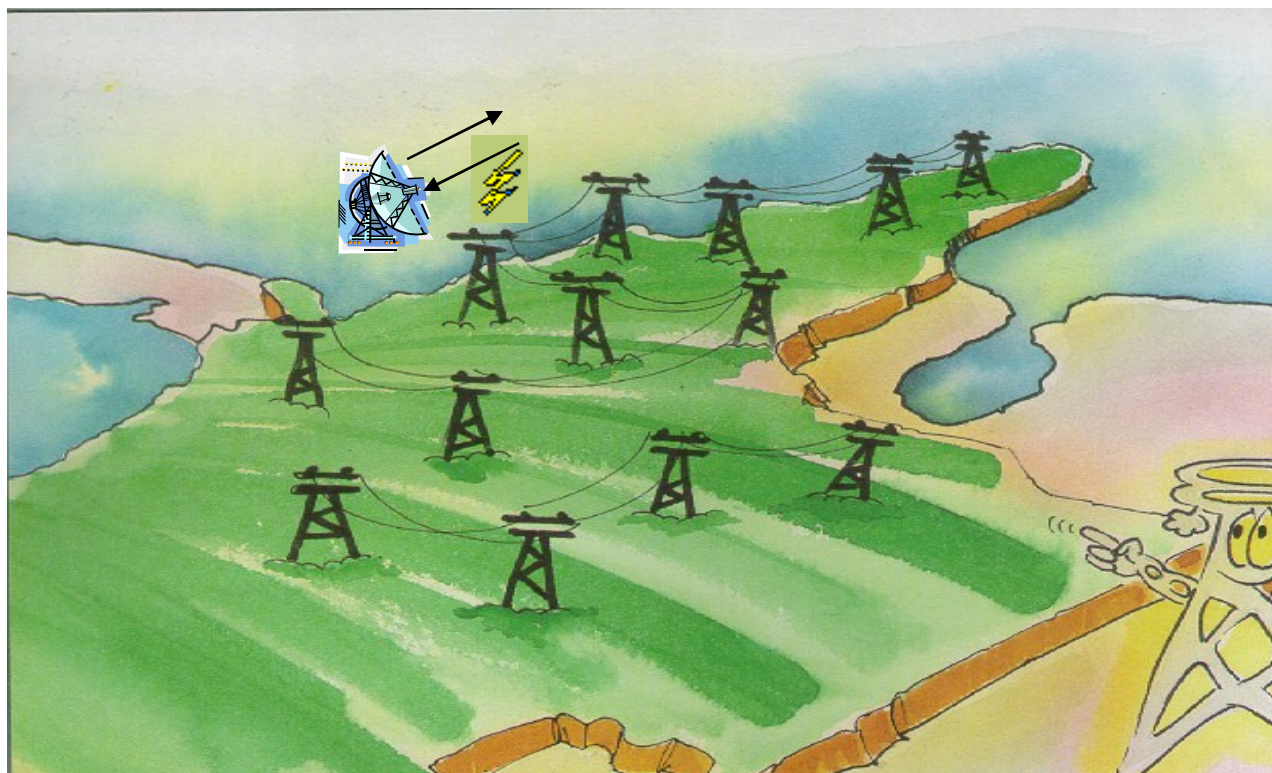




PROTECCIONES – COORDINACIÓN DE PROTECCIONES



PROTECCIONES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Jorge Antonio Jaimes Báez - MPE Ingeniero Eléctricista

BIBLIOGRAFÍA

- **Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia** – Héctor Jorge Altuve Ferrer- Universidad Autónoma de Nuevo León- México
- **GUÍAS PARA EL BUEN AJUSTE Y LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL STN.** Ingeniería Especializada Blandon – IEB – Julio 2000
- **Curso Protecciones Eléctricas** – Ingeniería Especializada Blandon – 2011
- **Protective relaying – Principles and applications.** J Lewis Blackburn Marcel Dekker, Inc. – 1987
- **IEEE BUFF BOOK - Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems** IEEE Industrial and Commercial Power Systems Committee. 1990
- **Electrical Distribution-System Protection.** Cooper Power Systems. Third Edition – 1990
- **Manual de Protecciones para Sistemas Eléctricos de Potencia.** Orlando Ortiz, César Rozo, Sandra Mendoza, William Chaparro. U. Nacional – ISA -2000
- **Protecciones Eléctricas – Notas de Clase.** Gilberto Carrillo Caicedo. UIS. 2007
- **Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión** – Segunda Edición. H MV - Mejía y Villegas Consultores.

INTRODUCCIÓN

Cualquier esquema de protección con sobrecorrientes, bien sea para un sistema de distribución completo o un segmento de línea, debe estar basado en los siguientes principios:

- Todas las fallas deben tener la oportunidad de ser temporizadas, ya que la mayoría lo son.
- El bloqueo (interrupción de potencia por más de un momento instantáneo) debe ocurrir únicamente para fallas permanentes.
- La más pequeña porción de la línea debe ser desconectada del servicio como resultado del bloqueo.

Sin embargo, cada empresa puede aplicar sus criterios de protección, incluido las restricciones económicas. El resultado puede una significativa diferencia en la velocidad de reacción ante la primera indicación de una falla según la prioridad que se le haya dado a cada principio (sensibilidad, tiempo, etc.)

INTRODUCCIÓN

Los siguientes datos y características del sistema deben ser conocidos para planear un efectivo esquema de protección con sobrecorriente, independientemente del procedimiento o filosofía:

1. Diagrama unifilar del sistema: Longitud de la línea, importancia de las cargas, configuración del sistema.
2. Información de la fuente: máximo valor de la corriente de falla, impedancias de secuencia positiva y cero.
3. Información de transformadores: Impedancia, capacidades nominales, relación de transformación, relación X/R , característica de daño.
4. Información del sistema: mínima y máxima corriente de falla, corrientes máximas de carga, relación X/R , equipos fijos de protección, características inrush

INTRODUCCIÓN

Hay que señalar la corriente de falla mínima en el contexto de la protección de sobrecorriente se basa en un cálculo mediante el cual se supone una impedancia de falla. Así, el término no se refiere a la falla de corriente mínima posible, sino más bien a la corriente de falla mínima a la que se ajustan los dispositivos para disparar, basada en la filosofía de protección particularmente de cada empresa.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de distribución actuales, la coordinación de los dispositivos de protección debe hacerse en serie; también se le conoce como "cascada", debido a la que la mayoría de estos operan en forma radial.

Cuando dos o más dispositivos de protección son aplicados en un sistema, el dispositivo más cercano a la falla del lado de alimentación es el dispositivo protector, y el siguiente más cercano del lado de la alimentación es el dispositivo "respaldo" o protegido.

El requerimiento indispensable para una adecuada coordinación consiste en que el dispositivo protector debe operar y despejar la sobrecorriente antes que el dispositivo de respaldo se funda (fusible) u opere al bloqueo (restaurador).

INTRODUCCIÓN

Un ejemplo simple coordinación se muestra en la figura.

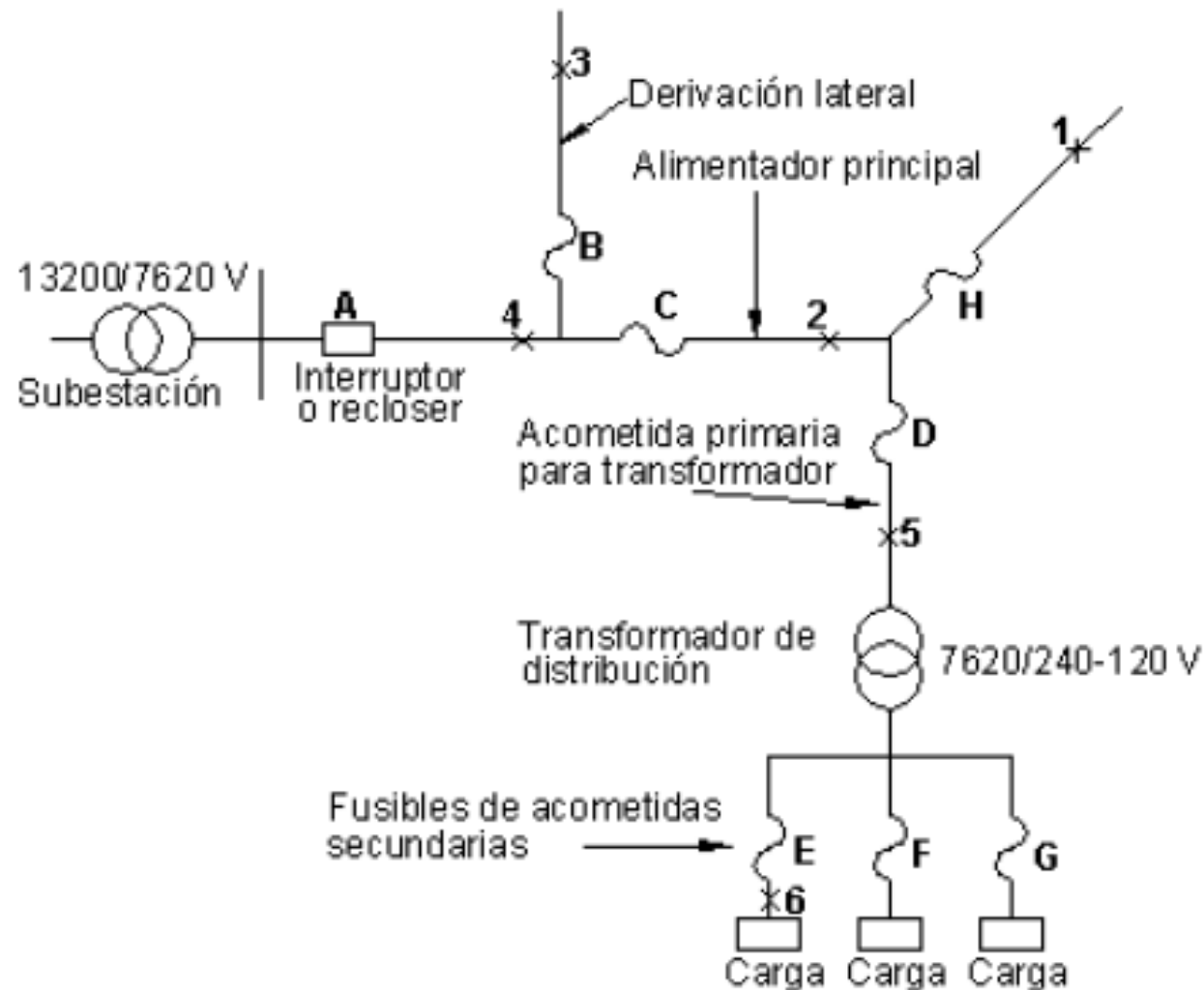


FIGURA 12.60. Coordinación de protecciones.

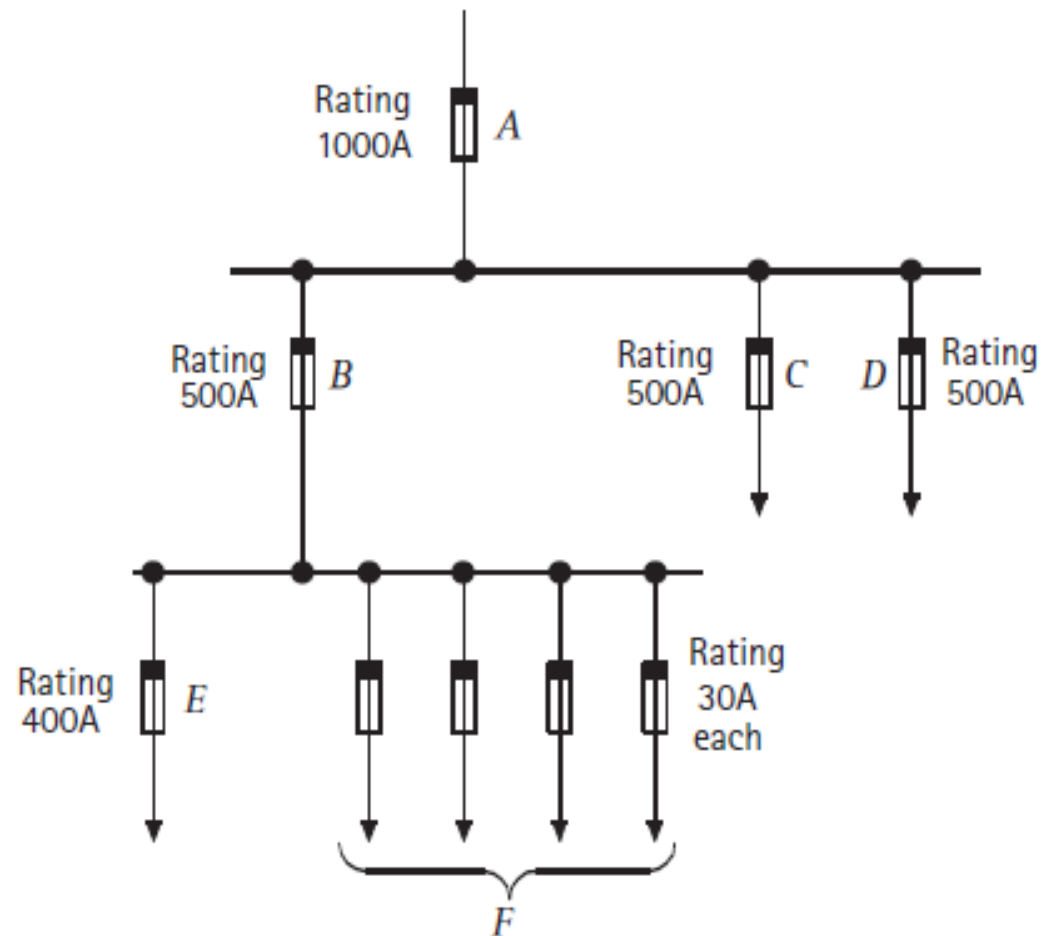
INTRODUCCIÓN

Cuando hay una falla en el punto 1, el fusible H es el dispositivo protector y el dispositivo C el de respaldo.

Con respecto al dispositivo A, el dispositivo C es el dispositivo protector y debe interrumpir corrientes de falla permanente en el punto 2 antes que el dispositivo A opere a bloqueo. El dispositivo B es también un dispositivo protector para dispositivo A y opera en forma similar al dispositivo C para una falla en el punto 3. El dispositivo A opera a bloqueo solamente con fallas permanentes antes que los dispositivos B y C, como en el punto 4. Para una falla en el punto 6, el dispositivo E debe operar antes que el dispositivo D, previniendo con esto que el transformador salga de servicio, y con él el suministro de energía a las otras cargas en el secundario transformador; igualmente, para una falla en el punto 5 el fusible D es el protector. sistema por tiempo más corto

INTRODUCCIÓN

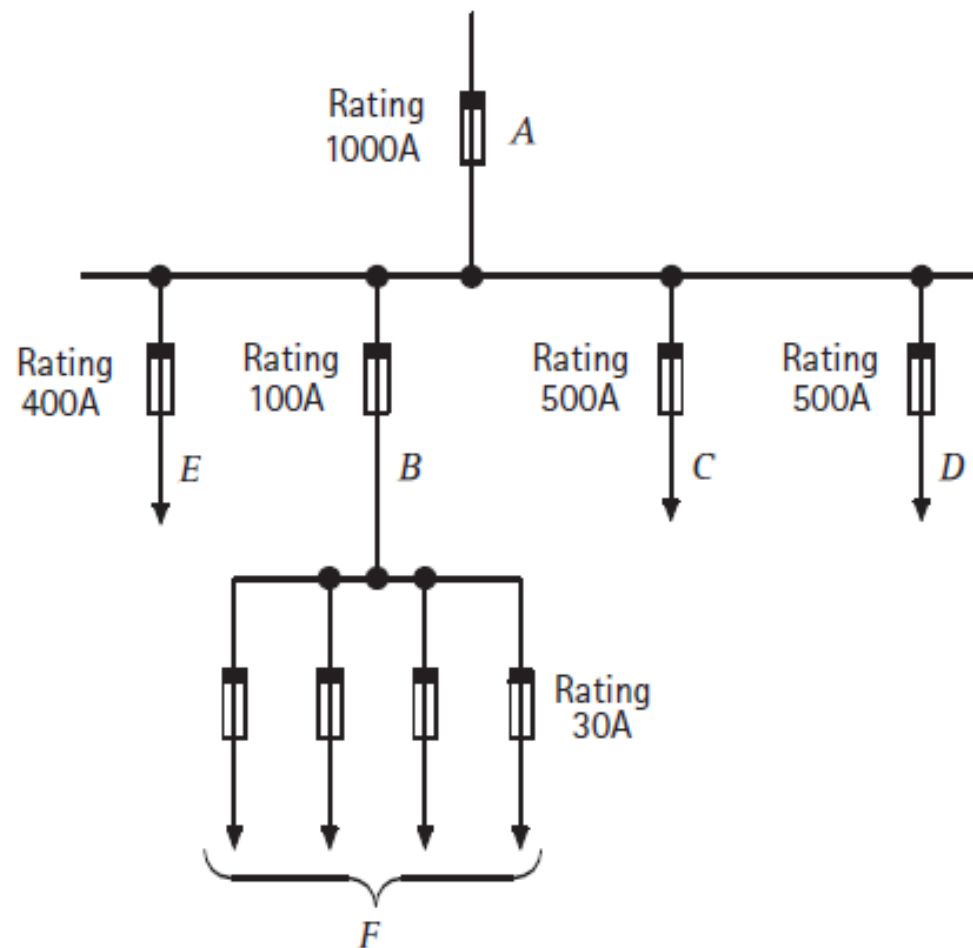
Coordinación con fusibles. Esquema incorrecto



(a) Incorrect layout giving rise to problems in discrimination

INTRODUCCIÓN

Coordinación con fusibles. Esquema correcto



(b) Correct layout and discrimination

1.1 COORDINACIÓN FUSIBLE - RELÉ

La aplicación de este tipo de arreglo se da fundamentalmente entre dispositivos ubicados en una misma subestación (protección de banco en alta tensión - protección de banco en baja tensión). Dichas instalaciones son generalmente del tipo rural o suburbano, alimentadas de sistemas de subtransmisión y con transformadores de potencia cuya capacidad no excede de 10 MVA, para los cuales los fusibles deben ser del tipo potencia.

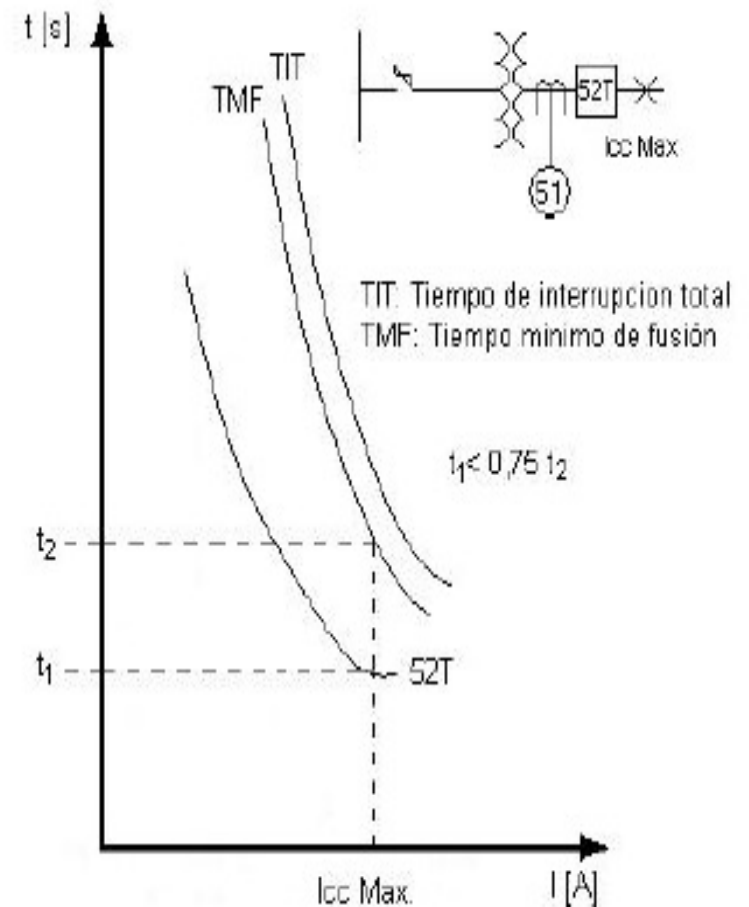


Figura 4.2 Criterio de coordinación fusible-relevador.

1.1 COORDINACIÓN FUSIBLE - RELÉ

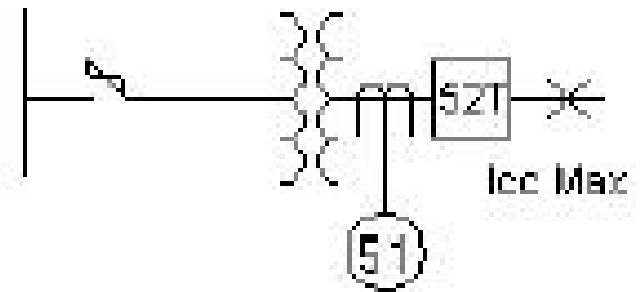
El criterio establece que debe existir un margen mínimo en tiempo de coordinación del 25% del tiempo entre la curva TMF (tiempo mínimo de fusión) del fusible, y la curva característica tiempo-corriente del relevador cuando está presente la máxima corriente de cortocircuito.

Con dicho margen se pretende no sólo que el fusible no opere, sino que el calentamiento transitorio a que se ve sometido no provoque alguna modificación del tipo irreversible en sus características físicas, de tal forma que su comportamiento para otras fallas pudiera ser diferente al esperado. En otras palabras, si se define a t_2 como el tiempo mínimo de fusión del fusible de potencia para la falla de referencia y a t_1 , como el tiempo de operación del relevador para la misma falla, el criterio puede ser escrito como:

$$t_1 \leq 0,75t_2$$

1.1 COORDINACIÓN FUSIBLE - RELÉ

Una recomendación que facilita un estudio de coordinación cuando se aplica este criterio, es seleccionar la característica tiempo-corriente del dispositivo primario o delantero con una inversidad similar a la del dispositivo de respaldo (en este caso los fusibles poseen una curva extremadamente inversa), lográndose mantener con esto una separación uniforme entre ambas curvas al ser sus trayectorias prácticamente paralelas



1.1 COORDINACIÓN FUSIBLE - RELÉ

La metodología para la aplicación de este criterio, es la siguiente:

1. Se selecciona la capacidad mínima del fusible en función de la capacidad del transformador, considerando tanto condiciones normales de operación, como de sobrecarga por emergencia.
2. Se define la velocidad más apropiada para la característica de operación del fusible, tomando en cuenta para la componente TIT (tiempo de interrupción total) los tiempos requeridos de operación tanto para falla en alta tensión como para falla en baja tensión. Dicha característica debe verificarse además en su componente TMF (tiempo mínimo de fusión), para las condiciones de inrush y carga fría.

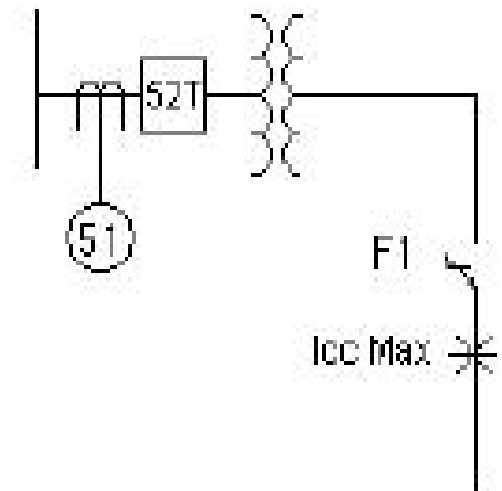
1.1 COORDINACIÓN FUSIBLE - RELÉ

La metodología para la aplicación de este criterio, es la siguiente:

3. Si las condiciones del entorno así lo requieren, se modifica la curva TMF mediante la aplicación de los factores de corrección respectivos.
4. Se define la característica de operación tiempo-corriente del relé, en función de los requerimientos de coordinación del sistema.
5. Finalmente, se seleccionan los ajustes del relevador para cumplir con el margen de coordinación establecido por el criterio para este arreglo.

1.2 COORDINACIÓN RELÉ - FUSIBLE

La aplicación de este tipo de arreglo se da frecuentemente entre dispositivos ubicados en diferentes localidades, el relé en una subestación como protección de un circuito de distribución y el fusible como protección de un ramal sobre la línea de distribución. El criterio establece que debe existir un margen mínimo en tiempo de coordinación de cuando menos 0,3 segundos entre la curva TIT del fusible y la curva característica del relé para la máxima corriente de cortocircuito común a ambos dispositivos.



1.2 COORDINACIÓN RELÉ - FUSIBLE

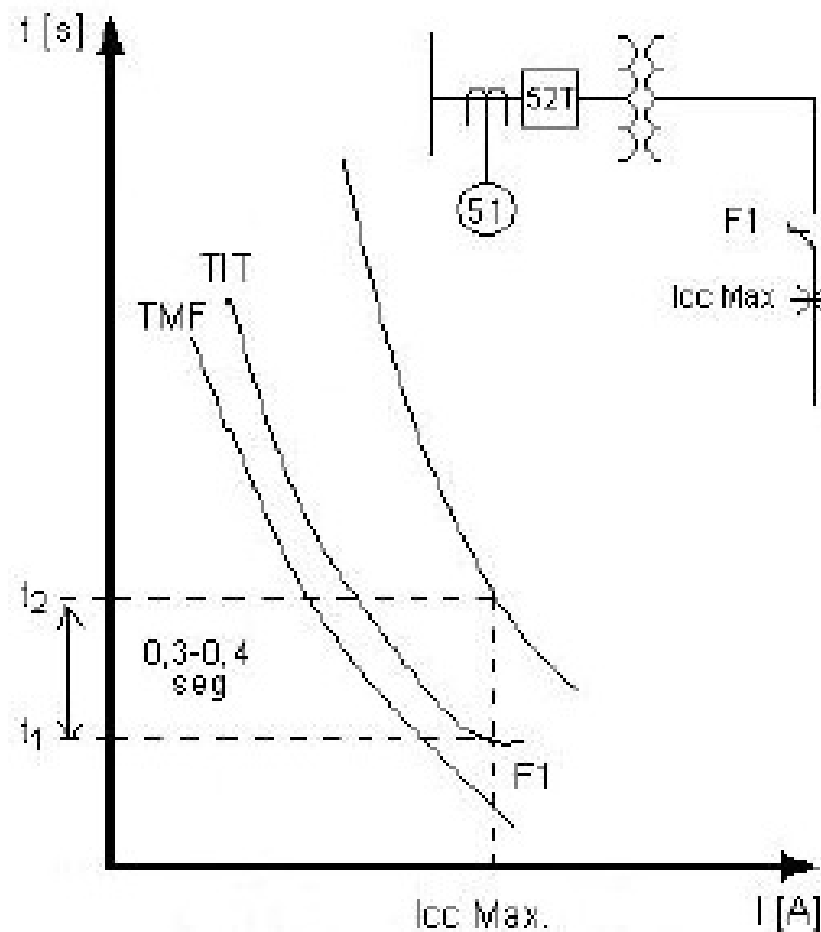


Figura 4.8 Criterio de coordinación relevador-fusible.

1.2 COORDINACIÓN RELÉ - FUSIBLE

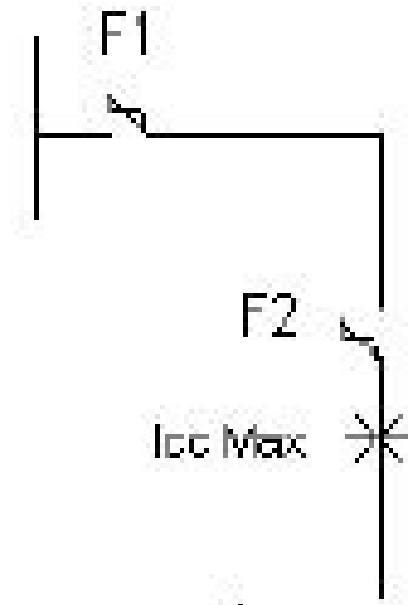
Con la operación selectiva de la unidad instantánea del relé de sobrecorriente, para cualquier falla en el ramal, el primer disparo lo efectúa el propio relé, reenergizando el circuito a través del relé de recierre o de la función de recierre.

Posteriormente al cerrar el interruptor y mediante un arreglo en el circuito de control del esquema (relés electromecánicos o estáticos) o por programación (relés microprocesados), es inhabilitada o bloqueada la acción de la unidad instantánea del relé, de tal forma que si la falla persiste se fundirá el fusible debido al margen de coordinación de 0,3 segundos mantenido entre su curva característica TIT y la curva característica de la unidad 51 del relé

1.3 COORDINACIÓN FUSIBLE - FUSIBLE

La aplicación de este tipo de arreglo se da entre dispositivos ubicados en una línea o red de distribución, siendo el fusible de respaldo la protección de un ramal o subramal del circuito y pudiendo ser el fusible primario, la protección de un subramal o bien de un transformador de distribución.

El criterio establece que debe existir un margen mínimo en tiempo de coordinación del 25% del tiempo de la curva característica TMF del fusible de respaldo, entre esta y la curva característica TIT del fusible primario, para la máxima corriente de cortocircuito común a ambos dispositivos



1.3 COORDINACIÓN FUSIBLE - FUSIBLE

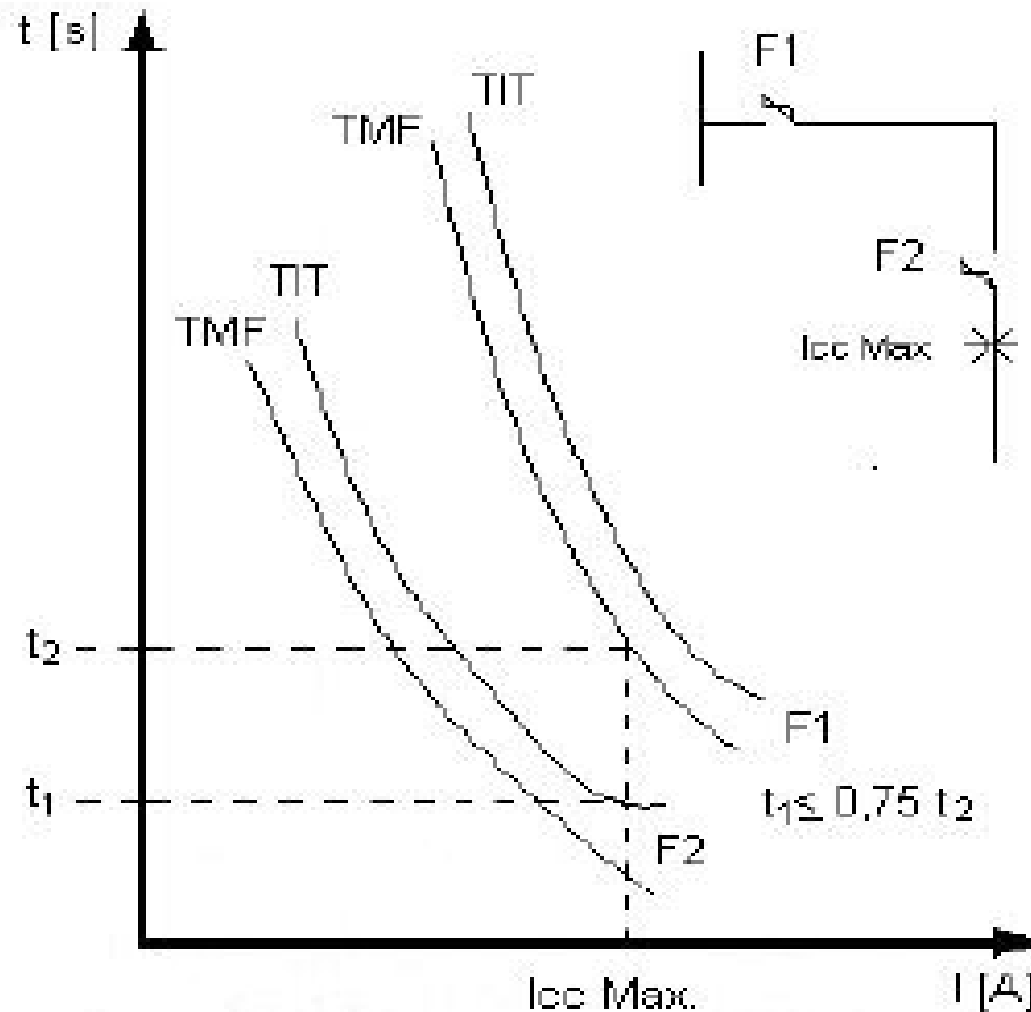


Figura 4.9 Criterio de coordinación fusible- fusible.

1.3 COORDINACIÓN FUSIBLE - FUSIBLE

Este margen es para evitar posibles modificaciones en las características físicas del fusible debido al calentamiento excesivo. Se define a t_2 como el tiempo mínimo de fusión del fusible de respaldo para la falla de referencia y a t_1 como el tiempo de máximo de apertura del fusible primario para la misma falla, el criterio puede ser escrito como:

$$t_1 \leq 0,75t_2$$

Es decir que la curva TIT del fusible lado carga no debe exceder el 75% en tiempo a la curva TMF del fusible lado fuente para la máxima corriente de cortocircuito. Por otra parte cabe señalar que en un estudio de coordinación de protecciones en donde se involucran fusibles, debe contarse dentro de la información requerida con las características de operación tiempo-corriente garantizadas por el fabricante.

1.3 COORDINACIÓN FUSIBLE - FUSIBLE

Por consiguiente, cada estudio de coordinación de protecciones identifica a uno o varios tipos específicos de elementos fusibles, cada uno de los cuales se encuentra asociado al régimen de corriente que debe utilizarse para asegurar una coordinación adecuada.

Los elementos fusibles requieren de su reemplazo después de operar por una falla, por lo que es necesario reemplazar al elemento fundido, por otro del mismo tipo y régimen de corriente, siendo recomendable también que preferentemente sea del mismo fabricante. Una acción que simplifica y facilita tal labor de reemplazo, es tratar de uniformizar las capacidades de todos los fusibles primarios que se encuentran coordinados con un dispositivo de respaldo común sea este, relevador, restaurador, fusible o seccionalizador.

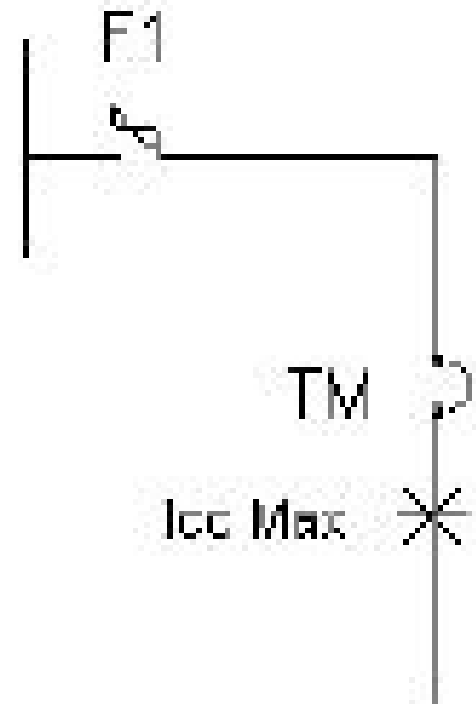
1.3 COORDINACIÓN FUSIBLE - FUSIBLE

Esto puede lograrse desde el estudio de coordinación de protecciones, seleccionando la capacidad del fusible más crítico en cuanto a condiciones de carga y cortocircuito se refiere, y aplicar esa misma capacidad al resto de los elementos. Generalmente si existe coordinación con el elemento crítico, la misma se mantiene con los elementos menos críticos.

1.4 COORDINACIÓN FUSIBLE - INTERRUPTOR

La selectividad entre un interruptor y un fusible que se conectan en serie, se da cuando la curva característica del fusible no toca la curva característica de disparo del interruptor, en el intervalo de las sobrecargas y hasta aproximarse a la zona de disparo.

La coordinación se da cuando el tiempo máximo de respuesta entre ellos es entre 0,2 segundos y 0,4 segundos para la falla máxima.



1.4 COORDINACIÓN FUSIBLE - INTERRUPTOR

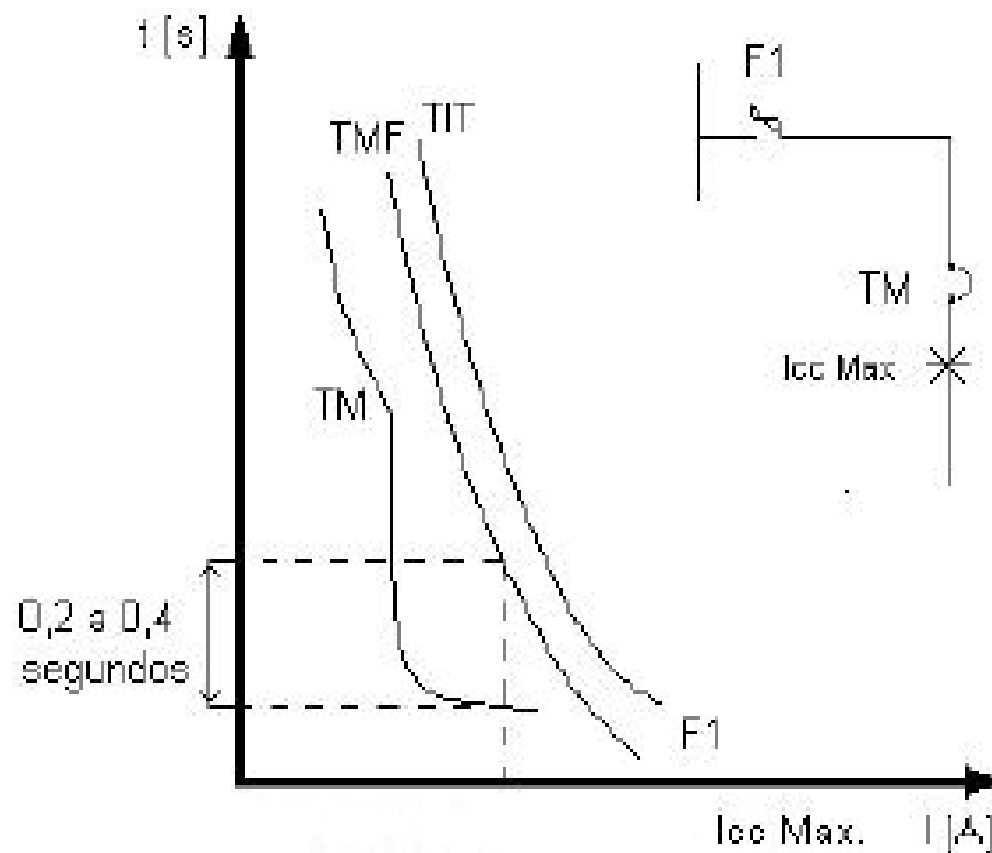
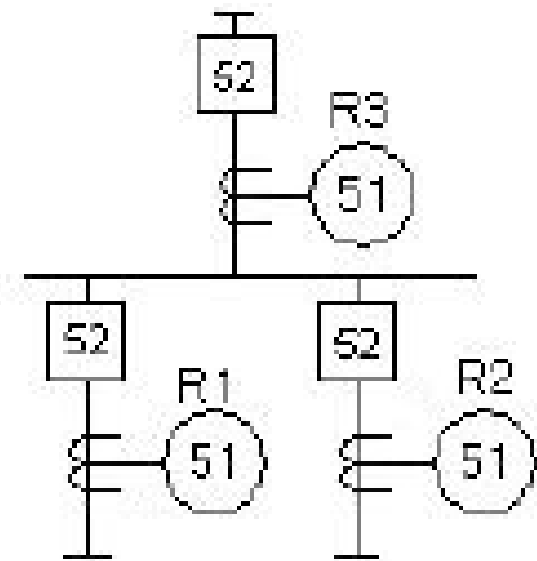


Figura 4.10 Criterio de coordinación fusible-Interruptor termomagnético

1.5 COORDINACIÓN RELÉ - RELÉ

Cuando se usan relevadores de sobrecorriente en serie, se establece un margen de tiempo entre 0,2 segundos y 0,4 segundos al valor máximo de falla que se presente, este tiempo incluye el tiempo de operación del interruptor (alrededor de 0,12 segundos) y el tiempo del relevador (0,10 segundos), aun cuando puede haber diferencias entre fabricantes



1.5 COORDINACIÓN RELÉ - RELÉ

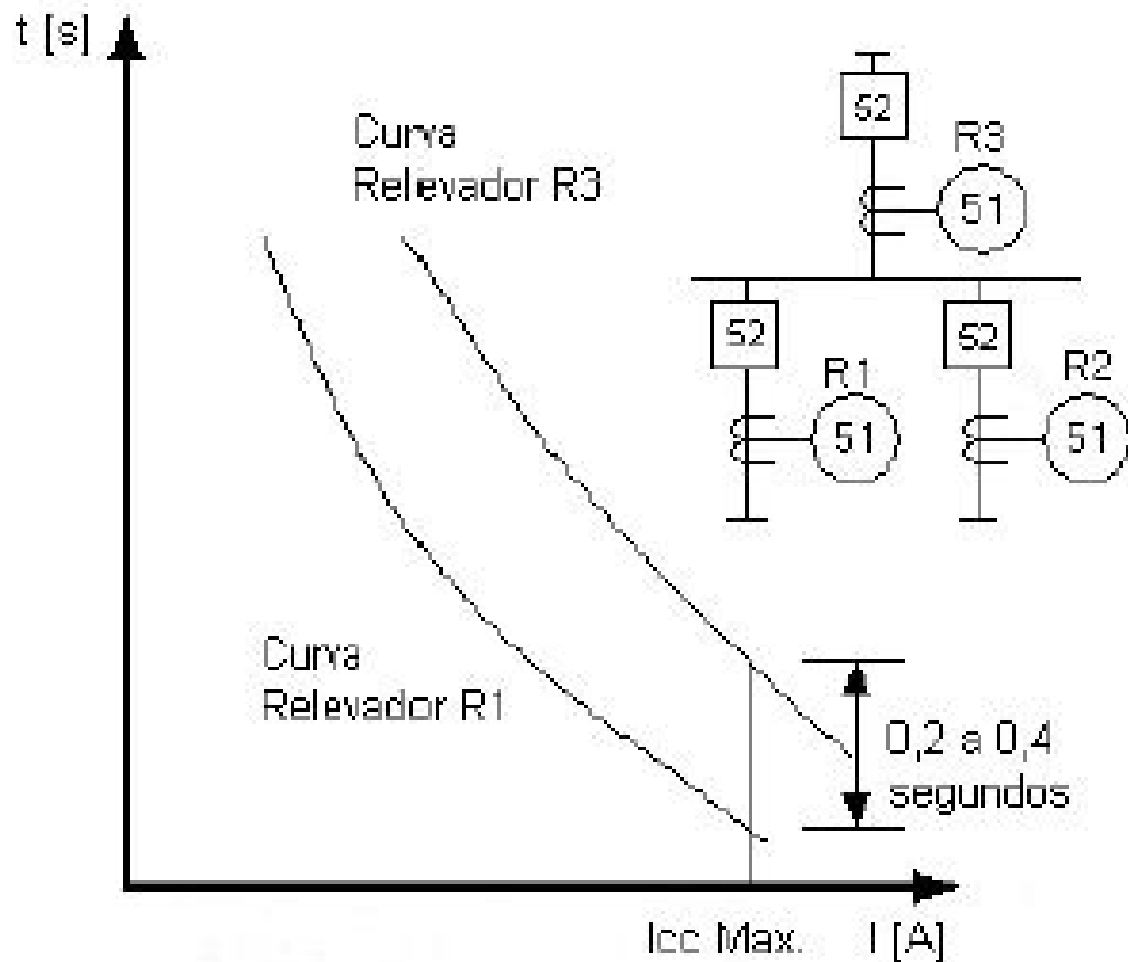


Figura 4.11 Criterio de coordinación relevador-relevador.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Para coordinar el sistema debe ser selectivo, es decir que opere solo el dispositivo de protección que se encuentre más cercano a la falla; si por alguna razón este dispositivo falla, entonces debe operar el siguiente. En la figura se muestra el proceso de selectividad.

La forma más fácil de dibujar las curvas es trazar las curvas sobre hojas de papel loglog en limpio, para esto es recomendable el uso de una mesa con el fondo iluminado

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

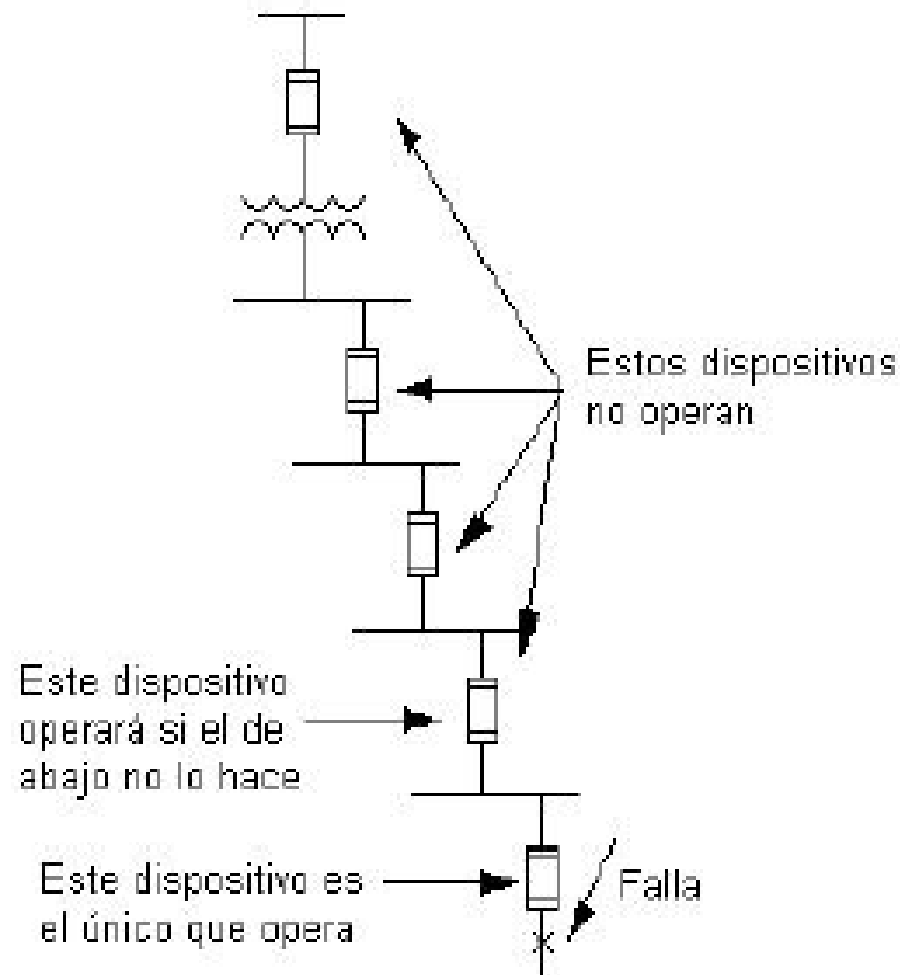


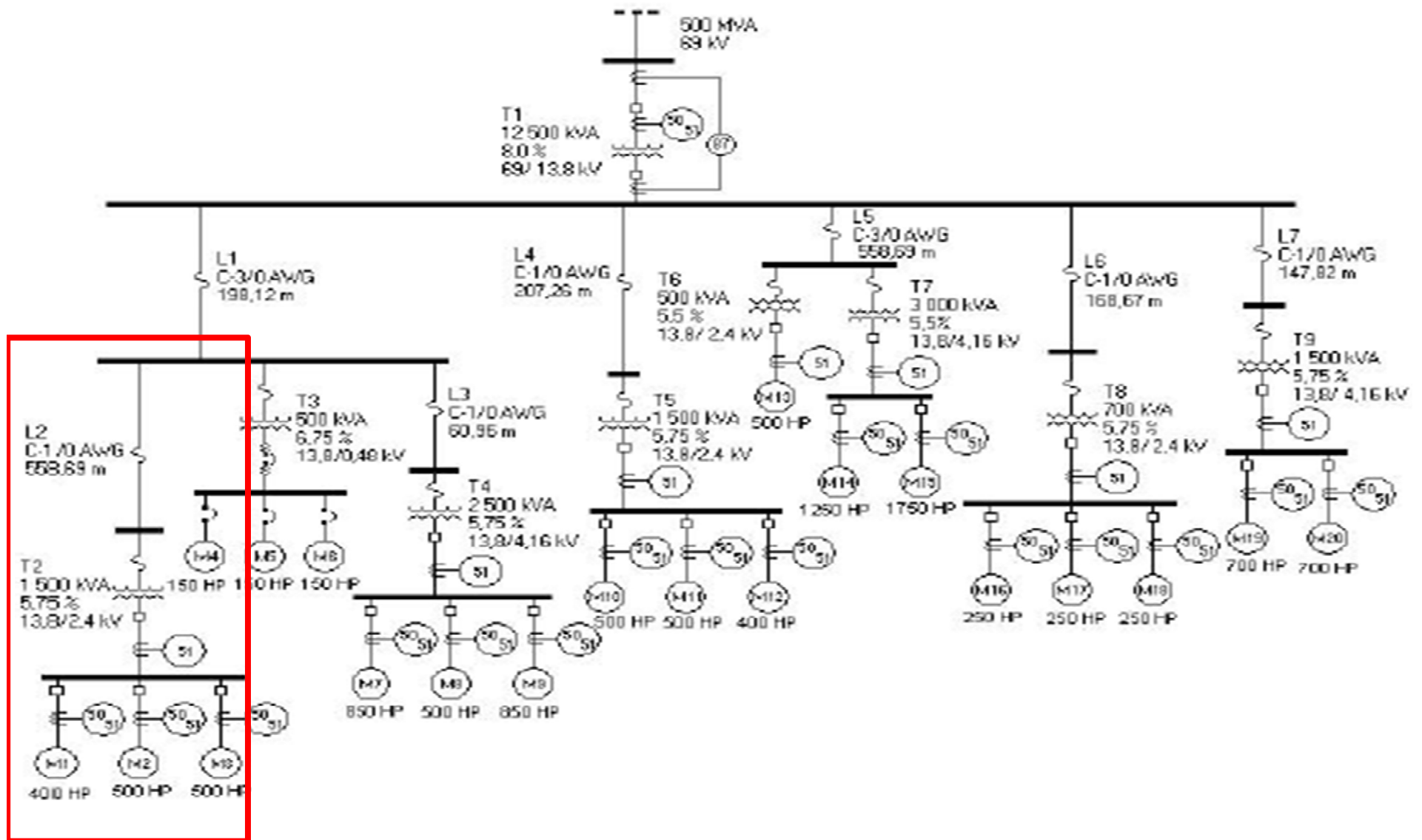
Figura 4.12 Proceso de selectividad cuando ocurre una falla.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Otro punto importante es que se debe de tomar en cuenta una escala, ya que los dispositivos se encuentran a diferentes niveles de tensión. Para realizar esta escala se necesita únicamente la relación del transformador para pasar de un nivel de tensión a otro

Retomando el ejercicio realizado en el capítulo 3, hagamos un análisis para una de las ramas:

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES



2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Tabla 4.1 Valores de corriente de los motores referidos a 13,8 kV

Motor	Dato	I [A]	V _P [kV]	V _S [kV]	Relación	I _{ref} [A]
150 HP	I _n	180,422	13,8	0,48	28,75	6,275
	I _{RB}	1 082,532				37,653
	I _{arr}	1 569				54,592
250 HP	I _n	60,141	13,8	2,4	5,75	10,459
	I _{RB}	360,844				62,755
	I _{arr}	635,085				110,449
400 HP	I _n	96,225	13,8	2,4	5,75	16,734
	I _{RB}	577,350				100,408
	I _{arr}	982,080				170,796
500 HP	I _n	120,281	13,8	2,4	5,75	20,918
	I _{RB}	721,686				125,511
	I _{arr}	1 235,520				214,873
500 HP	I _n	69,393	13,8	4,16	3,317	21,010
	I _{RB}	416,358				125,522
	I _{arr}	732,837				220,933
700 HP	I _n	97,150	13,8	4,16	3,317	29,288
	I _{RB}	582,902				175,732
	I _{arr}	1 025,907				309,287
850 HP	I _n	117,970	13,8	4,16	3,317	35,565
	I _{RB}	707,810				213,388
	I _{arr}	1 245,740				375,562
1250 HP	I _n	173,483	13,8	4,16	3,317	52,301
	I _{RB}	1 040,900				313,807
	I _{arr}	1 831,984				552,301
1750 HP	I _n	242,875	13,8	4,16	3,317	73,221
	I _{RB}	1 457,245				439,326
	I _{arr}	2 564,767				773,219

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Tabla 4.2 Valores de corriente de cortocircuito 3 Φ en barras referidos a 13,8 kV.

Barra	I [kA]	V _p [kV]	V _s [kV]	Relación	I _{ref} [kA]
1	4,498	69	13,8	5	22,490
2	7,601	13,8	13,8	1	7,601
3	6,754	13,8	13,8	1	6,754
4	6,541	13,8	13,8	1	6,541
5	6,239	13,8	13,8	1	6,239
6	6,615	13,8	13,8	1	6,615
7	5,615	13,8	13,8	1	5,615
8	11,790	13,8	0,48	28,75	0,410
9	6,615	13,8	13,8	1	6,615
10	7,367	13,8	2,4	5,75	1,281
11	2,788	13,8	2,4	5,75	0,485
12	7,885	13,8	4,16	3,3173	2,377
13	3,787	13,8	2,4	5,75	0,659
14	4,260	13,8	4,16	3,3173	1,284
15	7,233	13,8	2,4	5,75	1,258
16	6,494	13,8	4,16	3,3173	1,958
17	6,682	13,8	13,8	1	6,682

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Tabla 4.3 Valores de corriente de cortocircuito 1 Φ en barras referidos a 13,8 kV.

Barra	I [kA]	V _p [kV]	V _s [kV]	Relación	I _{ref} [kA]
1	4,388	69	13,8	5	21,940
2	10,346	13,8	13,8	1	10,346
3	9,882	13,8	13,8	1	9,882
4	9,563	13,8	13,8	1	9,563
5	9,165	13,8	13,8	1	9,165
6	9,707	13,8	13,8	1	9,707
7	8,249	13,8	13,8	1	8,249
8	12,283	13,8	0,48	28,75	0,427
9	9,683	13,8	13,8	1	9,683
10	7,610	13,8	2,4	5,75	1,323
11	2,808	13,8	2,4	5,75	0,488
12	8,377	13,8	4,16	3,3173	2,525
13	3,876	13,8	2,4	5,75	0,674
14	4,397	13,8	4,16	3,3173	1,325
15	7,661	13,8	2,4	5,75	1,332
16	6,856	13,8	4,16	3,3173	2,066
17	9,802	13,8	13,8	1	9,802

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Proceso de coordinación.

Coordinando la rama 1.

La rama 1 incluye la barra 3 con una corriente de falla de 9,882 kA, la barra 7 una de 8,249 kA y la barra 15 una de 1,332 kA, la figura 4.14 muestra la rama.

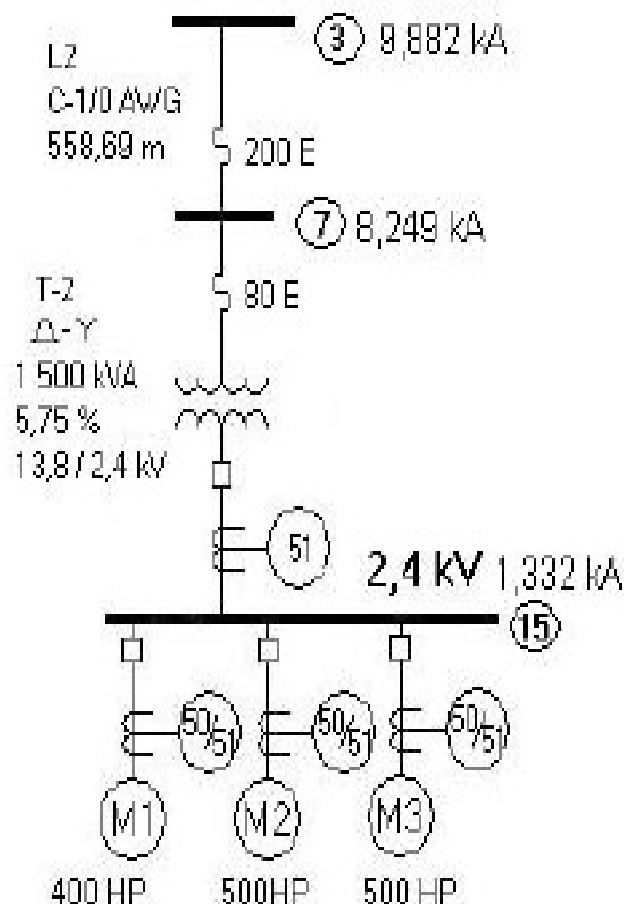


Figura 4.14 Coordinación de protecciones para motores 1, 2 y 3, transformador 2 y línea 2.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 1,332 kA en la barra 15 se tiene un relevador 51 para operar como protección principal, en caso de no operar se cuenta con un fusible 80 E de respaldo que pertenece al transformador T-2. Para observar la coordinación se emplea el criterio relevador-fusible, por lo tanto los tiempos de operación (figura C.1 en anexos) para dicha falla es:

Tiempo relevador: 0,029 segundos

Tiempo fusible 80 E: 0,065 segundos

Con estos tiempos de operación se emplea la ecuación 4.1 para obtener el porcentaje de coordinación entre protecciones.

$$\%Coordinacion = \frac{tiempo\ relevador}{tiempo\ fusible\ respaldo\ (TMF)} \times 100 \quad 4.1$$

$$\%Coord = \frac{0,029\ s}{0,065\ s} \times 100 = 44,61\%$$

Para que la coordinación sea la adecuada se debe encontrar en el intervalo de 30% al 75%, en este caso el porciento de coordinación es de 44,61% por lo tanto estos dispositivos si coordinan.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

2. Para coordinar el fusible 80 E del transformador con el fusible 200 E de la línea y una falla de 8,249 kA se emplea la ecuación 4.2

$$\%Coordinacion = \frac{\text{tiempo fusible principal (TIT)}}{\text{tiempo fusible respaldo (TMF)}} \times 100 \quad 4.2$$

Los tiempos de operación son:

Tiempo fusible principal 80 E (curva TIT): 0,01 segundos

Tiempo fusible respaldo 200 E (curva TMF): 0,019 segundos

$$\%Coord = \frac{0,01 \text{ s}}{0,019 \text{ s}} \times 100 = 52,63\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 2.

La rama 2 incluye la barra 3 con una corriente de falla de 9,882 kA y la barra 8 con una corriente de falla de 0,427 kA, la figura 4.15 muestra la rama.

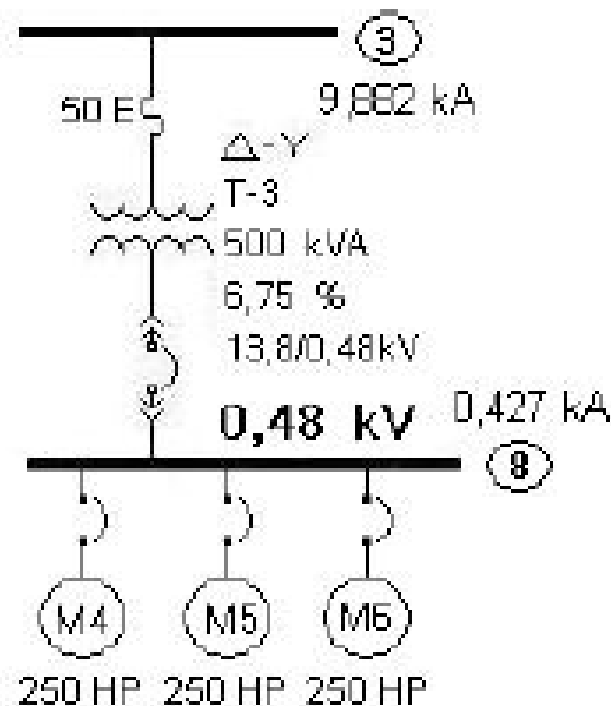


Figura 4.15 Coordinación de protecciones para motores 4, 5 y 6 y transformador 3.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 0,427 kA en la barra 8 se tiene un interruptor electromagnético y un fusible 50 E como protección de respaldo, el tiempo (figura C.2) para liberar la falla es:

Tiempo interruptor electromagnético: 0,06 segundos

Tiempo fusible 50 E (TMF): 0,36 segundos

Por lo tanto el tiempo de diferencia es de 0,30 segundos, lo necesario para la coordinación.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 3.

La rama 3 incluye la barra 3 con una corriente de falla de 9,882 kA, la barra 9 con 9,683 kA y la barra 16 con 2,066 kA, la figura 4.16 muestra la rama.

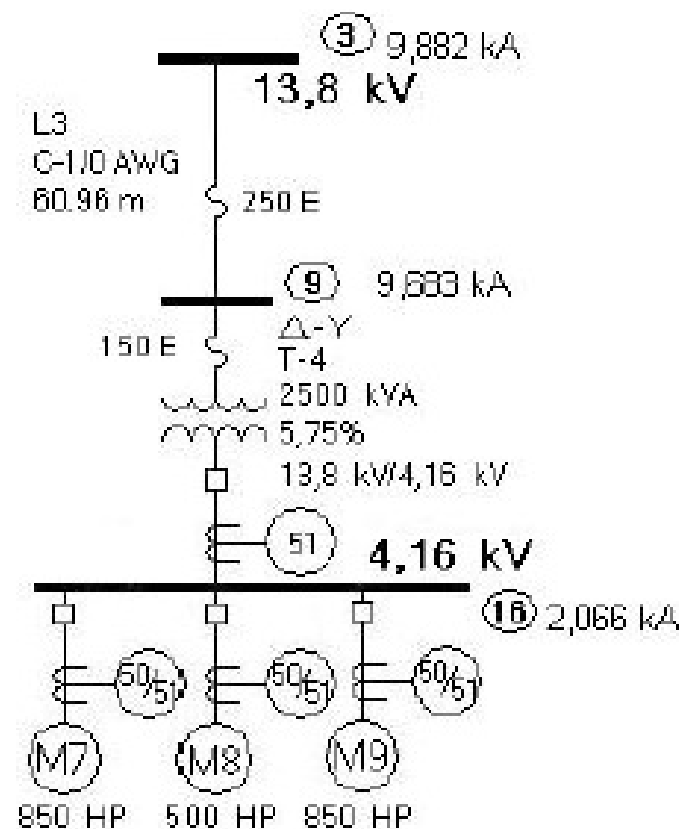


Figura 4.16 Coordinación de protecciones para motores 7, 8 y 9 transformador 4 y línea 3. **ez**

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla en la barra 16 se tiene un relevador 51 para operar como protección principal, en caso de no operar, se cuenta con un fusible 150 E de respaldo que pertenece al transformador T-4. Los tiempos a operar para una falla de 2,066 kA (figura C.3) son:

Tiempo relevador: 0,047 segundos

Tiempo fusible 150 E: 0,12 segundos

Por lo tanto el porcentaje de coordinación es:

$$\%Coord = \frac{0,047 \text{ s}}{0,12 \text{ s}} \times 100 = 39,16\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

2. En la selección de protecciones para un conductor calibre 1/0 AWG se obtuvo un fusible 200 E, pero debido a que no hay coordinación con el fusible 150 E del transformador T-4 se selecciona el inmediato superior en este caso se eligió el fusible 250 E, ya que los anteriores a este no coordinan. Los tiempos a operar para una falla en la barra 9 con un valor de 9,683 kA son:

Tiempo fusible principal 150 E (curva TIT): 0,014 segundos

Tiempo fusible respaldo 250 E (curva TMF): 0,024 segundos

$$\%Coord = \frac{0,014\text{ s}}{0,024\text{ s}} \times 100 = 58,33\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 4.

La rama 4 incluye la barra 2 con una corriente de falla de 10,346 kA y la barra 3 con 9,882 kA. Cada uno de los elementos de la barra 3 deben coordinar con el de la barra 2, la figura 4.17 muestra la rama.

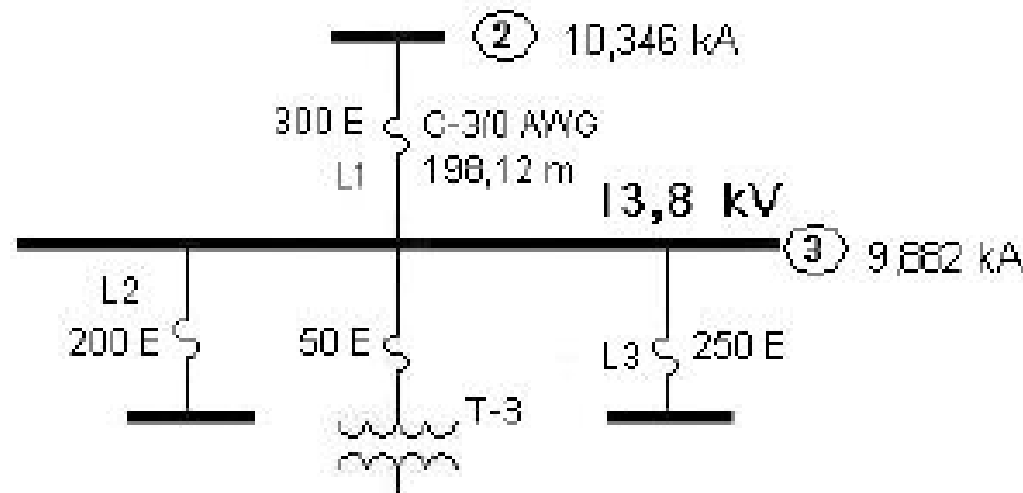


Figura 4.17 Coordinación de protecciones para línea 2, línea 3, transformador 3 y línea 1.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla en la barra 3, es necesario coordinar los fusibles 200 E (L2), 50 E (T-3) y 250 E (L3) con el 300 E (L1). La coordinación será con una falla presente de 9,882 kA, los tiempos de operación (figura C.4) de los dispositivos son:

Tiempo fusible principal 200 E (curva TIT): 0,018 segundos

Tiempo fusible principal 50 E (curva TIT): 0,01 segundos

Tiempo fusible principal 250 E (curva TIT): 0,026 segundos

Tiempo fusible respaldo 300 E (curva TMF): 0,038 segundos

$$\%Coord_{L2-L1} = \frac{0,018 \text{ s}}{0,038 \text{ s}} \times 100 = 47,36\% \text{ si coordinan}$$

$$\%Coord_{T3-L1} = \frac{0,01 \text{ s}}{0,038 \text{ s}} \times 100 = 26,31\%$$

$$\%Coord_{L3-L1} = \frac{0,026 \text{ s}}{0,038 \text{ s}} \times 100 = 68,42\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

En este caso el fusible 50 E (T-3) obtiene un 26,31% de coordinación, esto no quiere decir que la protección no existe, sino que el tiempo de operación es mayor, en caso de no operar se cuenta con el fusible 300 E como respaldo.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 5.

La rama 5 incluye la barra 2 con una corriente de falla de 10,346 kA, la barra 4 con 9,563 kA y la barra 10 con 1,323 kA, la figura 4.18 muestra la rama.

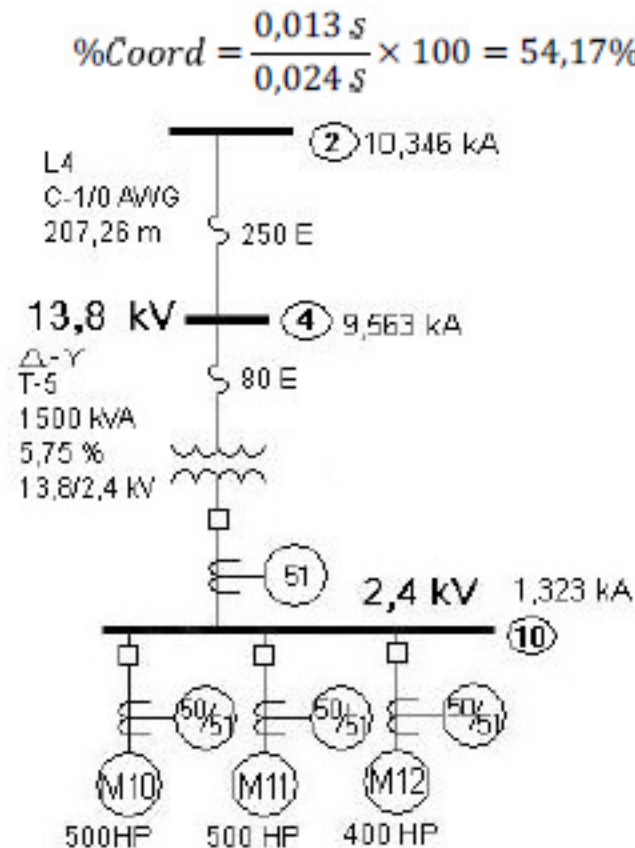


Figura 4.18 Coordinación de protecciones para motores 10, 11 y 12, transformador 5 y línea 4.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 1,323 kA en la barra 10 se tiene un relevador 51 para operar como protección principal, en caso de no operar, se cuenta con un fusible 80 E de respaldo que pertenece al transformador T-5. Los tiempos de operación (figura C.5) para dicha falla son:

Tiempo relevador: 0,028 segundos

Tiempo fusible respaldo 80 E: 0,06 segundos

$$\%Coord = \frac{0,028 \text{ s}}{0,06 \text{ s}} \times 100 = 46,67\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

2. La coordinación del fusible 80 E (T-5) con el fusible 250 E (L4), es para una falla de 9,563 kA, por lo que los tiempos de operación son:

Tiempo fusible principal 80 E (curva TIT): 0,013 segundos

Tiempo fusible respaldo 250 E (curva TMF): 0,024 segundos

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 6.

La rama 6 incluye la barra 5 con una corriente de falla de 9,165 kA y la barra 11 con una corriente de falla de 0,488 kA, la figura 4.19 muestra la rama.

$$\%Coord = \frac{0,12 s}{0,29 s} \times 100 = 41,37\% \text{ si coordinan}$$

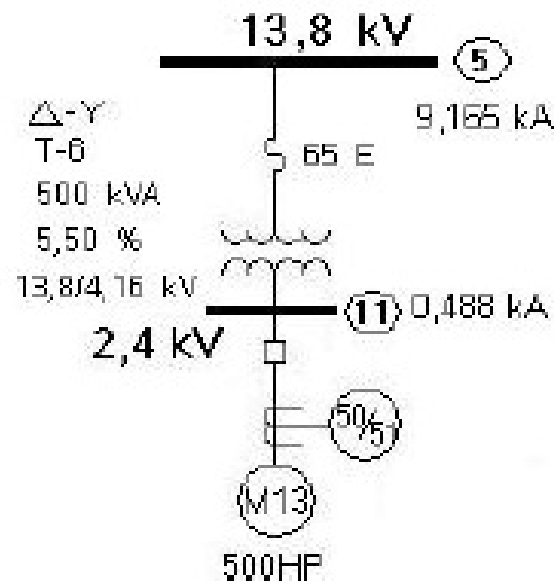


Figura 4.19 Coordinación de protecciones para motor 13 y transformador 6.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 0,488 kA en la barra 11, se tiene un relevador de protección de sobrecorriente (50/51) como protección principal y un fusible 65 E como protección de respaldo. Los tiempos de operación (figura C.6) cuando ocurre la falla son:

Tiempo relevador: 0,12 segundos

Tiempo fusible respaldo 65 E: 0,29 segundos

$$\%Coord = \frac{0,12 s}{0,29 s} \times 100 = 41,37\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 7.

La rama 7 incluye la barra 5 con una corriente de falla de 9,165 kA y la barra 12 con una corriente de falla de 2,525 kA, la figura 4.20 muestra la rama.

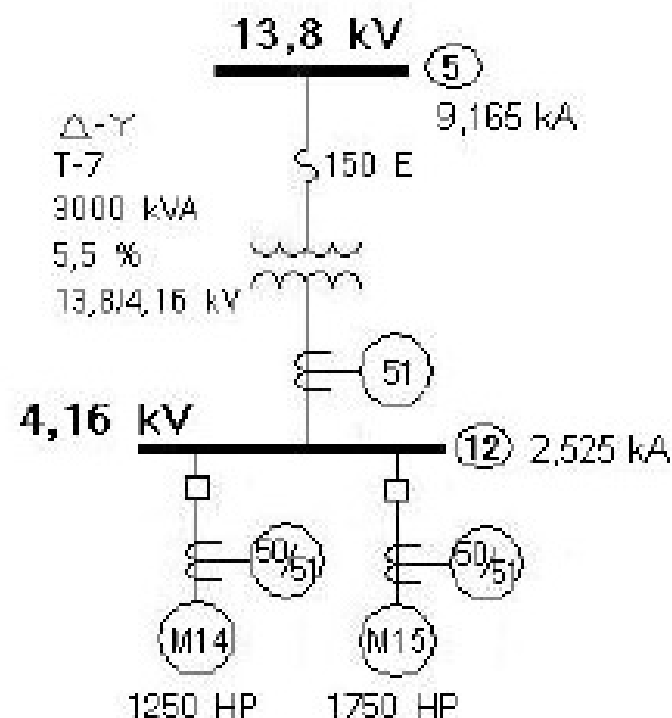


Figura 4.20 Coordinación de protecciones para motor 14, 15 y transformador 7.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 2,525 kA en la barra 12, se tiene un relevador de protección de sobrecorriente (50/51) como protección principal y un fusible 150 E como protección de respaldo. Los tiempos de operación (figura C.7) cuando ocurre la falla son:

Tiempo relevador: 0,035 segundos

Tiempo fusible respaldo 150 E: 0,08 segundos

$$\%Coord = \frac{0,035 \text{ s}}{0,080 \text{ s}} \times 100 = 42,50\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 8.

La barra 8 incluye la barra 2 con una corriente de falla de 10,346 kA y la barra 5 con una corriente de falla de 9,165 kA, la figura 4.21 muestra la rama.

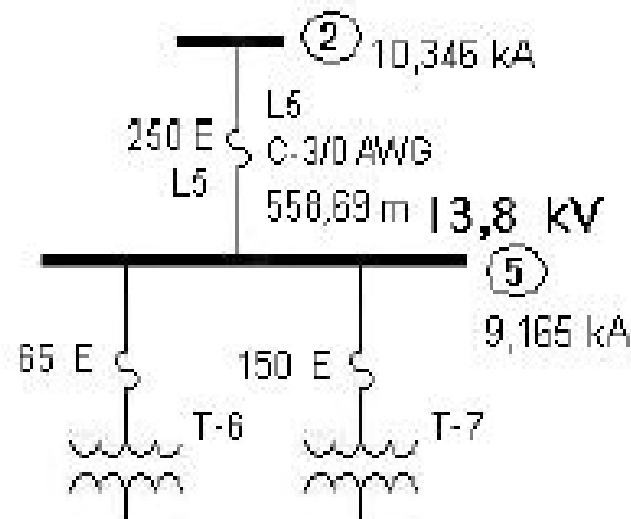


Figura 4.21 Coordinación de protecciones para transformador 6, transformador 7 y línea 5.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla en la barra 5, es necesario coordinar los fusibles 65 E (T-6) y 150 E (T-7) con el 250 E (L5), la coordinación será con una falla presente de 9,165 kA. Los tiempos de operación (figura C.8) de los dispositivos son:

Tiempo fusible principal 65 E (curva TIT): 0,01 segundos

Tiempo fusible principal 150 E (curva TIT): 0,015 segundos

Tiempo fusible respaldo 250 E (curva TMF): 0,025 segundos

$$\%Coord_{T6-L5} = \frac{0,01\text{ s}}{0,025\text{ s}} \times 100 = 40\% \text{ si coordinan}$$

$$\%Coord_{T7-L5} = \frac{0,015\text{ s}}{0,025\text{ s}} \times 100 = 60 \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 9.

La rama 9 incluye la barra 2 con una corriente de falla de 10,346 kA, la barra 6 con 9,707 kA y la barra 13 con 0,674 kA, la figura 4.22 muestra la rama.

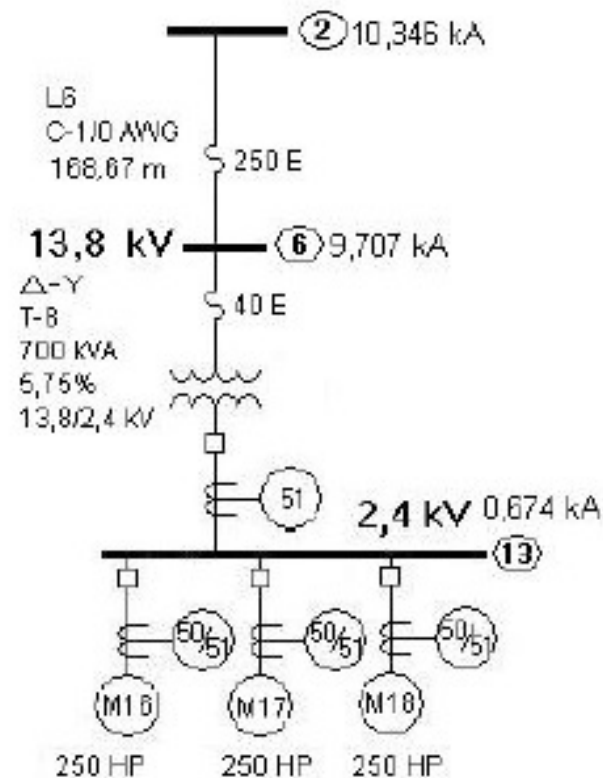


Figura 4.22 Coordinación de protecciones para motores 16, 17, 18, transformador 8 y línea 6.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 0,674 kA en la barra 13 se tiene un relevador 51 para operar como protección principal, en caso de no operar se cuenta con un fusible 40 E de respaldo que pertenece al transformador T-8. Los tiempos de operación (figura C.9) para dicha falla son:

Tiempo relevador: 0,049 segundos

Tiempo fusible respaldo 40 E: 0,091 segundos

$$\%Coord = \frac{0,048\text{ s}}{0,091\text{ s}} \times 100 = 53,84\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

2. La coordinación del fusible 40 E (T-8) con el fusible 250 E (L6), es para una falla de 9,707 kA, por lo que los tiempos de operación son:

Tiempo fusible principal 40 E (curva TIT): 0,01 segundos

Tiempo fusible respaldo 250 E (curva TMF): 0,022 segundos

$$\%Coord = \frac{0,01 s}{0,022 s} \times 100 = 45,45\% \text{ sí coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 10.

La rama 10 incluye la barra 2 con una corriente de falla de 10,346 kA, la barra 17 con 9,802 kA y la barra 14 con 1,625 kA, la figura 4.23 muestra la rama.

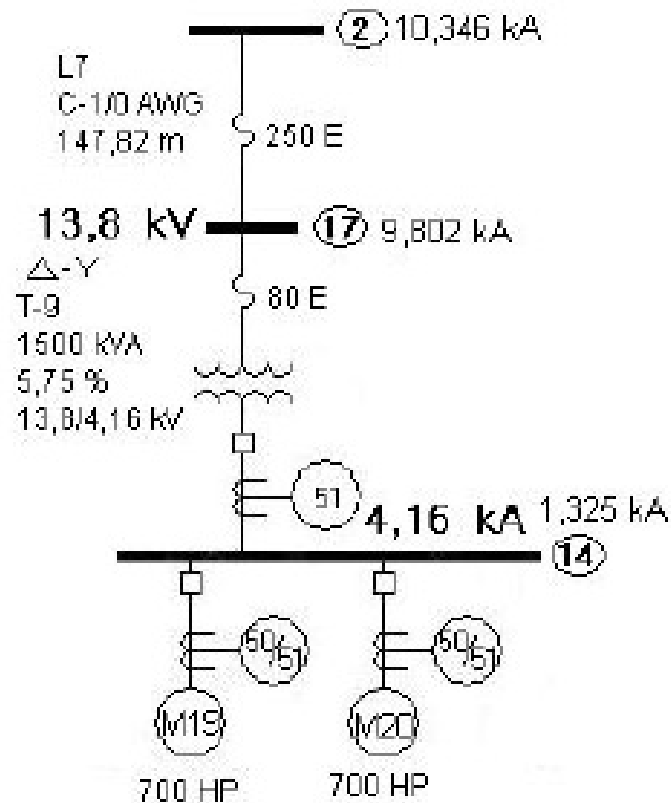


Figura 4.23 Coordinación de protecciones para motores 19, 20, transformador 9 y línea 7.

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 1,325 kA en la barra 14 se tiene un relevador 51 para operar como protección principal, en caso de no operar, se cuenta con un fusible 80 E de respaldo que pertenece al transformador T-9. Los tiempos de operación (figura C.10) para dicha falla son:

Tiempo relevador: 0,029 segundos

Tiempo fusible respaldo 80 E: 0,059 segundos

$$\%Coord = \frac{0,029 \text{ s}}{0,059 \text{ s}} \times 100 = 49,15\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

2. La coordinación del fusible 80 E (T-9) con el fusible 250 E (L7), es para una falla de 9,802 kA, por lo que los tiempos de operación son:

Tiempo fusible principal 80 E (curva TIT): 0,01 segundos

Tiempo fusible respaldo 250 E (curva TMF): 0,022 segundos

$$\%Coord = \frac{0,01 s}{0,022 s} \times 100 = 45,45\% \text{ si coordinan}$$

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

Coordinando la rama 11.

La rama 11 incluye la barra 1 con una corriente de falla de 21,940 kA y la barra 2 con una corriente de falla 10,346 kA. La línea 1, 4, 5, 6 y 7 deben coordinar con el relevador 50/51 que protege al transformador T-1, la figura 4.24 muestra la rama.

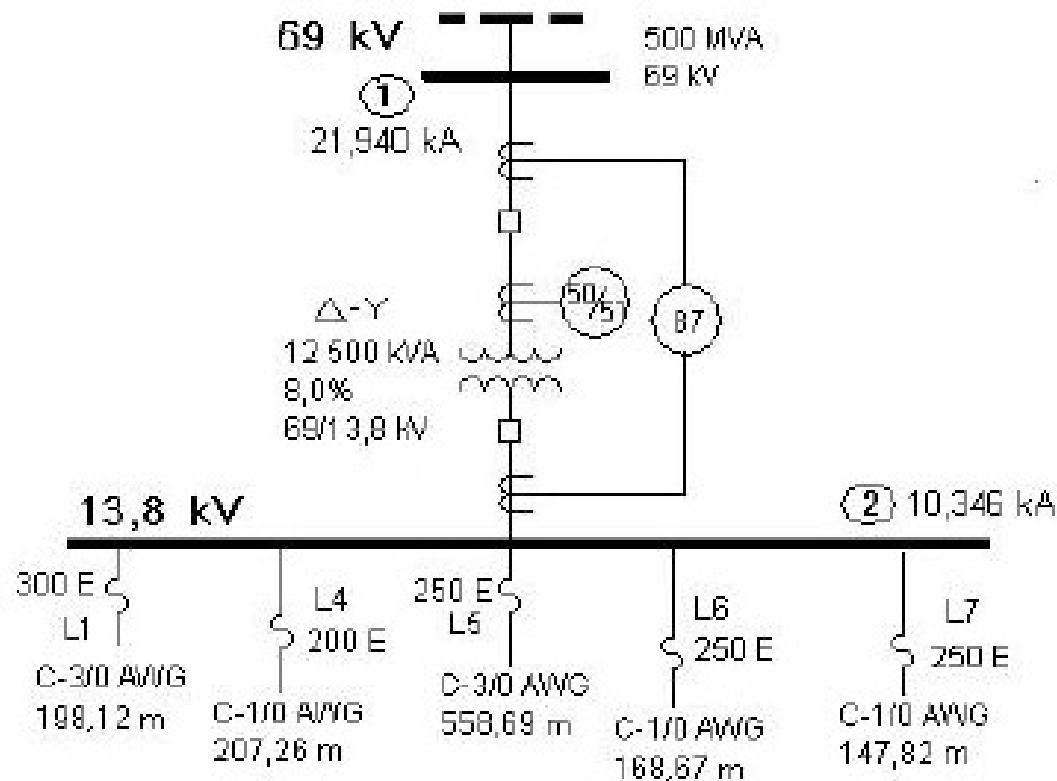


Figura 4.24 Coordinación de protecciones para L1, L4, L5, L6, L7 y transformador 1. s Báez

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

1. Para la falla de 21,940 kA en la barra 1 se tienen tres fusibles 250 E que protegen las líneas 5, 6 y 7 respectivamente; un fusible 300 E y otro 200 E que protegen las líneas 1 y 4 respectivamente, para operar como protecciones principales, en caso de no operar, se cuenta con un relevador 51 para operar como protección de respaldo que pertenece al transformador T-1. Los tiempos de operación (figura C.11) para dicha falla son:

Tiempo de los fusibles principales 200 E: 0,01 segundos

Tiempo del relevador 51 de respaldo: 0,43 segundos

Tiempo de los fusibles principales 250 E: 0,013 segundos

Tiempo del relevador 51 de respaldo: 0,43 segundos

Tiempo de los fusibles principales 300 E: 0,014 segundos

Tiempo del relevador 51 de respaldo: 0,43 segundos

2. EJEMPLOS COORDINACIÓN PROTECCIONES

De acuerdo al criterio de coordinación relevador-fusible debe de existir un margen mínimo en tiempo de coordinación de cuando menos 0,3 a 0,4 segundos entre la curva TIT y la curva característica del relevador, para la máxima corriente de cortocircuito.

Para los fusibles de 200 E coordinado con el relevador 51 se tiene:

$$\text{Tiempo de Coord} = 0,43s - 0,01s = 0,42s$$

Por lo tanto, estos dispositivos si coordinan.

Para los fusibles de 250 E coordinado con el relevador 51 se tiene:

$$\text{Tiempo de Coord} = 0,43s - 0,013s = 0,417s$$

Por lo tanto, estos dispositivos si coordinan.

Para los fusibles de 300 E coordinado con el relevador 51 se tiene:

$$\text{Tiempo de Coord} = 0,43s - 0,014s = 0,416s$$