

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**EVALUACIÓN DE CORTOCIRCUITOS PARA LA SELECCIÓN
DE PROTECCIONES EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN
COMERCIAL Y/O INDUSTRIAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

GEORGE MARCOS BLANCO JUSTO

**PROMOCIÓN
1987- I**

**LIMA – PERÚ
2008**

**EVALUACIÓN DE CORTOCIRCUITOS PARA LA SELECCIÓN DE PROTECCIONES
EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN COMERCIAL Y/O INDUSTRIAL.**

A mis padres por su confianza y apoyo

SUMARIO

Para un proyecto eléctrico de distribución, sea este efectuado en el sector comercial, industrial y/o minero, los requerimientos técnicos y económicos son importantes y significativos, por ello entre otros aspectos a considerar, es importante la adecuada determinación de las protecciones eléctricas, ya que ello incidirá en los costos del mismo y más aún en la confiabilidad y seguridad de operación actuando finalmente como un sistema.

Es por ello que mediante diversos cálculos se deben garantizar las diversas protecciones de una instalación eléctrica:

- Protección contra sobrecargas
- Limitaciones de las caídas de tensión
- Protección contra cortocircuitos
- Comprobación de las solicitaciones térmicas
- Protección contra contactos indirectos

En este Informe en lo que compete a la selección de protecciones eléctricas, se trata de llamar la atención a establecer como práctica, la importancia y evaluación del cálculo del cortocircuito a lo largo del sistema eléctrico, ya que ello contribuirá a tener más y mejor información para poder seleccionar adecuados equipos de protección en lo que se refiere a interruptores termo magnéticos

INDICE

PRÓLOGO	1
CAPITULO I	
PROTECCIONES EN SISTEMAS ELECTRICOS	
1.1 Introducción	2
CAPITULO II	
CORTOCIRCUITO	
2.1 Concepto	6
2.2 Características de la corriente de cortocircuito	6
2.3 Consecuencia de los cortocircuitos	9
2.4 Establecimiento de la intensidad de cortocircuito	10
CAPITULO III	
METODOS DE CÁLCULO DE CORTOCIRCUITOS	
3.1 Introducción	12
3.2 Valor de la corriente de cortocircuito I_{cc} en el origen de la instalación	12
3.2.1 Alimentación con transformador AT/BT	12
3.2.2 Alimentación a través de un alternador	14
3.3 Valores de cortocircuito en cualquier punto de la instalación	15
3.3.1 Método de las Impedancias	15
3.3.2 Método de la composición	19
CAPITULO IV	
CONCEPTOS COMPLEMENTARIOS AL CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	
4.1 Protección contra las sobrecargas	20
4.2 Coordinación o Filiación	22
4.2.1 Coordinación entre equipos corrientes arriba y corrientes abajo	22
4.2.2 Coordinación a 3 niveles	23
4.3 Selectividad de los equipos de protección	23
4.3.1 Selectividad amperimétrica	24
4.3.2 Selectividad cronométrica	25

4.3.3 Selectividad lógica	26
---------------------------	----

CAPITULO V

EQUIPOS DE PROTECCION ELECTRICA

5.1 Interruptor termomagnético	27
5.2 Principales componentes en un interruptor termomagnético	27
5.2.1 Relé térmico	27
5.2.2 Relé Magnético	28
5.2.3 Relé electrónico	28
5.3 Arco eléctrico	29
5.4 Coeficiente de limitación del interruptor automático termomagnético	29
5.5 Características de los interruptores termomagnéticos	31
5.5.1 Tensión de utilización asignada U_e (en V)	31
5.5.2 Tensión de aislamiento U_i (en V)	31
5.5.3 Tensión de choque U_{imp} (en kV)	31
5.5.4. Corriente asignada I_n (en A)	31
5.5.5 Poder de corte último I_{cu} (en kA)	31
5.5.6 Poder de corte de servicio I_{cs}	32
5.5.7 Corriente de corta duración admisible I_{cw} (en kA)	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
ANEXOS	35
BIBLIOGRAFÍA	47

PRÓLOGO

El objetivo de este informe es el de analizar la importancia de determinar y considerar los valores de las corrientes de corto circuito en los diferentes niveles de una instalación eléctrica en baja tensión, ya que las dimensiones de dicha instalación eléctrica, los materiales que se van a instalar, la selección de los equipos de protección para la instalación y responsables de un sistema eléctrico, lo necesitan.

Es necesario reconocer que el cálculo completo de las instalaciones es extremadamente largo, complejo e incluso agotado para haber justificado el desarrollo permanente de medios de ayuda práctica: cuadros-notas, normas de cálculo, hasta los programas informáticos que permiten obtener rápidamente resultados precisos y fiables.

Sin impugnar estos progresos innegables es necesario también reconocer que cuanto más elaboradas son las herramientas, menos sabemos como funcionan, es un poco como abrir el capó de un automóvil moderno.

Con esta constatación, este informe tiene el objetivo de recordar las pautas esenciales que permiten determinar las protecciones adecuadas para la instalación eléctrica en baja tensión, en este caso centralizándonos principalmente en el cálculo de las corrientes de cortocircuito para luego efectuar la selección adecuada del equipo de protección eléctrica. Se proporcionara información práctica y detallada de algunas herramientas disponibles para la resolución de problemas, así como procedimientos sobre la mejor forma de utilizarlas y que se complementan para una aplicación práctica.

CAPITULO I

PROTECCIONES EN SISTEMAS ELECTRICOS

1.1 Introducción

En la selección de las protecciones de todo proyecto eléctrico se encuentran involucrados diversos conceptos y evaluaciones que deben considerarse para garantizar el sistema eléctrico (fig 1.1):

- Protección contra sobrecargas
- Limitación de las caídas de tensión
- Protección contra cortocircuitos
- Comprobación de las solicitaciones térmicas
- Protección contra contactos indirectos

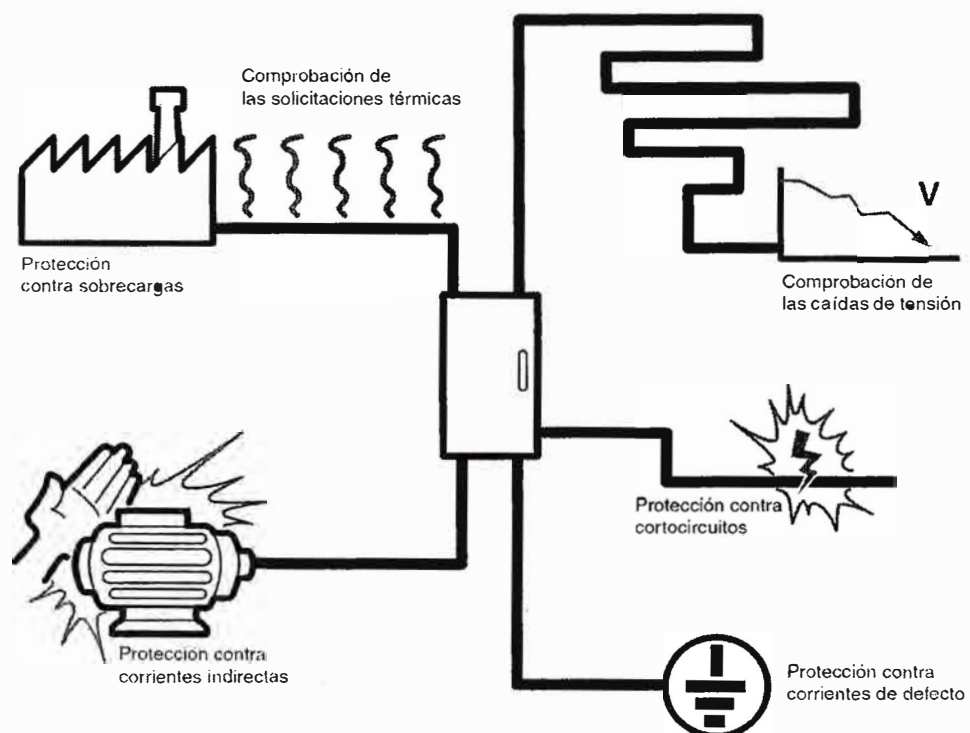


Fig 1.1 Condiciones para elección de protecciones eléctricas

Cualquier instalación eléctrica debe estar protegida contra los cortocircuitos y esto, salvo excepción, en cada punto que se presenta una discontinuidad eléctrica, lo que corresponde casi siempre con un cambio de sección de los conductores. La intensidad de la corriente de cortocircuito debe calcularse para cada uno de los diversos niveles de la instalación para poder determinar las características de los componentes que deberán soportar o cortar la corriente de falla.

Se empieza por evaluar dicho valor en el origen de la instalación, y después en cualquier punto según diversos métodos cuya elección depende de la importancia de la instalación, de los datos disponibles y del tipo de comprobación a efectuar.

El flujo lógico a seguir (figura 1.2) para conocer las diferentes corrientes de cortocircuito y los parámetros que permiten realizar los cálculos para cada uno de los dispositivos de protección.

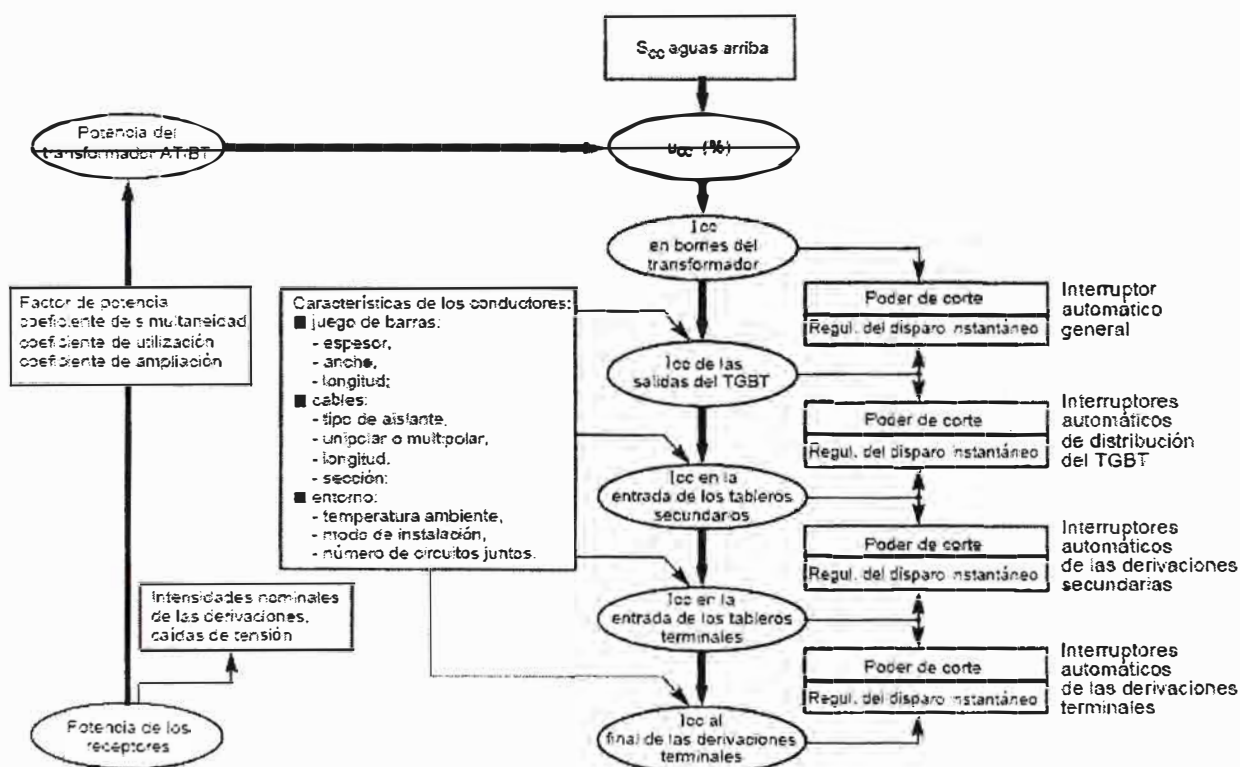


Fig 1.2 Procedimiento de cálculo de I_{cc} para una instalación

Una vez determinado el valor de I_{cc} es posible seleccionar y regular adecuadamente las protecciones, para lo cuál también se deberá utilizar curvas intensidad vs tiempo (figuras 1.3, 1.4 y 1.5).

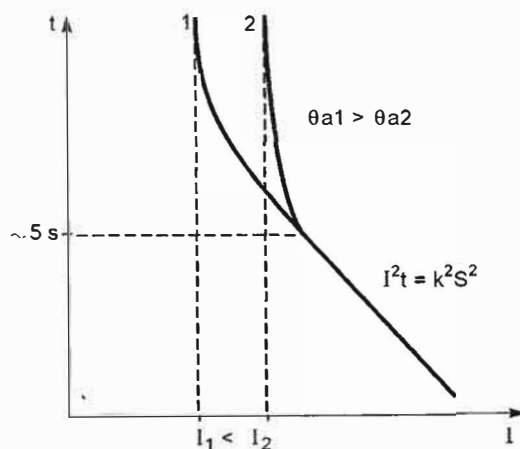


Fig 1.3 Características I^2t de un conductor en función de la temperatura ambiente (1,2 representan el valor eficaz de la corriente del conductor; I_2 es el límite de corriente en régimen permanente)

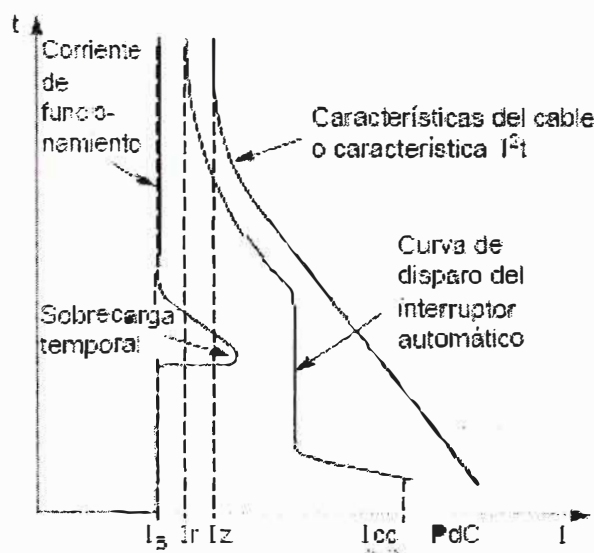


Fig 1.4 Protección de un circuito por interruptor termomagnético

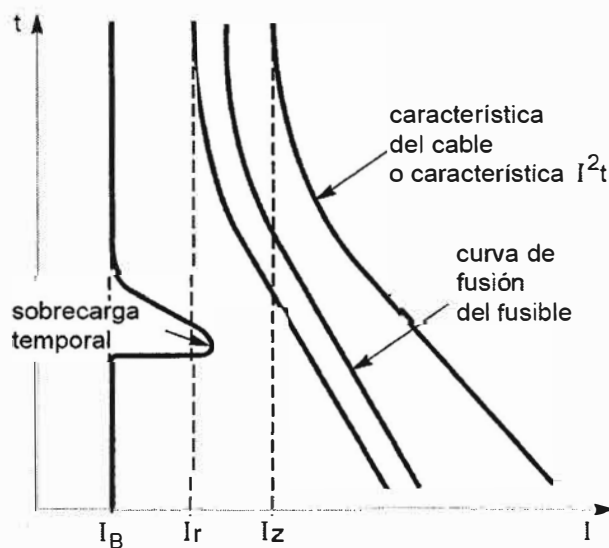


Fig 1.5 Protección de un circuito por un fusible aM

Es necesario conocer dos valores de corriente de cortocircuito:

- La corriente máxima de cortocircuito, que determina:
 - El poder de corte -PdC- de los interruptores automáticos
 - El poder de cierre de los dispositivos de maniobra.
 - La sollicitación electrodinámica de conductores y componentes.

El valor corresponde a un cortocircuito inmediatamente aguas abajo de los bornes del elemento de protección.

- La corriente mínima de cortocircuito, indispensable para elegir la curva de disparo de los interruptores automáticos y fusibles, especialmente cuando:
 - La longitud del cable es importante y/o la fuente es relativamente de alta impedancia.

Recordemos que la corriente mínima de cortocircuito corresponde a un cortocircuito producido en el extremo de una derivación protegida, cuando se produce un defecto bifásico en las condiciones de explotación menos severas.

En todos los casos, cualquiera que sea la corriente de cortocircuito (de mínimo a máximo), la protección debe de eliminar la falla en un tiempo (t_c) compatible con la sollicitación térmica que puede soportar el cable a proteger, la Norma IEC actualmente vigente establece que la energía específica pasante a través del interruptor durante el cortocircuito no debe superar el máximo valor de energía soportable por el cable protegido. Por lo tanto el cable estará protegido solo cuando se cumple la siguiente relación (formula 1.1):

$$\int_0^{t_c} [i(t)]^2 dt \leq K^2 S^2$$

(Fomula 1.1)

Donde:

K : constante que depende del tipo aislamiento

S: Sección del cable

CAPITULO II

CORTOCIRCUITO

2.1 Concepto

El cortocircuito es el fenómeno que se presenta cuando dos o más fases (o neutro) se ponen accidentalmente en contacto entre si. En este caso la corriente en circulación asume valores extremadamente altos y se debe interrumpir en un tiempo muy breve.

2.2 Características de la corriente de cortocircuito

En las instalaciones eléctricas pueden producirse diferentes tipos de cortocircuitos, siendo sus principales características:

- Por su duración:
 - auto extingible, transitorio y permanente.
- Por su origen:
 - Factores mecánicos (rotura de conductores, conexión eléctrica accidental entre dos conductores producida por un objeto conductor extraño, como herramientas o animales).
 - Debidos a sobretensiones eléctricas de origen interno o atmosférico.
 - Causados por la degradación del aislamiento provocada por el calor, la humedad o un ambiente corrosivo.
 - Por su localización: dentro o fuera de una máquina o un tablero eléctrico.

Desde otro punto de vista, los cortocircuitos pueden ser (figura 2.1):

- Monofásicos: 80% de los casos.
- Bifásicos: 15% de los casos. Los de este tipo, suelen degenerar en trifásicos
- Trifásicos: de origen, sólo el 5% de los casos.

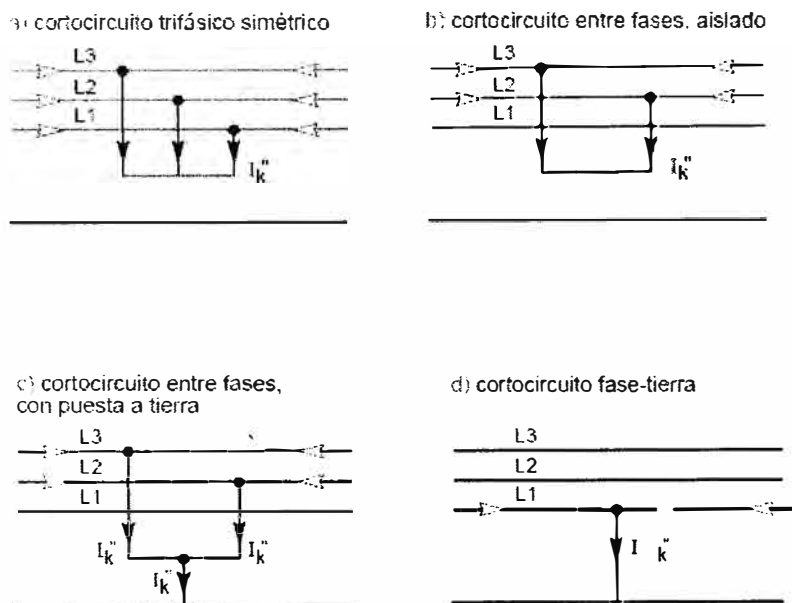


Fig 2.1 Diferentes tipos de cortocircuito

La corriente estimada de cortocircuito en un punto de una instalación es la corriente que se tendría al hacerse una conexión de resistencia despreciable entre los conductores con tensión.

El valor de esta corriente es un valor estimado, porque representa la peor condición posible (impedancia de falla nula, con tiempo de disparo largo) de tal manera que permita que la corriente alcance el valor máximo teórico)

En la realidad el cortocircuito se manifiesta con valores de corriente efectiva, considerablemente menores.

La intensidad de la corriente estimada de corto circuito, depende esencialmente de los siguientes factores:

- Potencia del transformador de fuerza, mientras mayor sea la potencia, mayor será la corriente
- Longitud de la línea al punto de falla, mientras mayor sea la distancia, menor será la corriente

La condición más grave del cortocircuito es el trifásico simétrico o equilibrado (figuras 2.2 2.3 y 2.4)

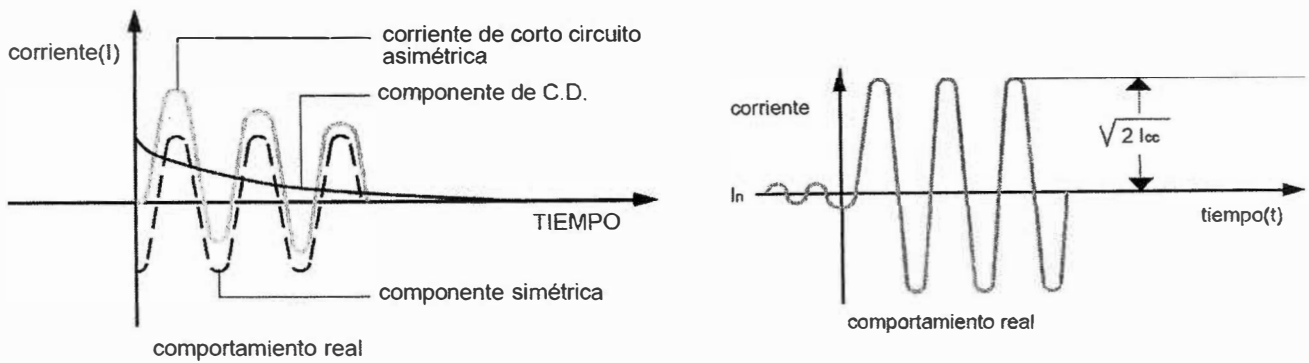


Fig 2.2 Comportamiento del cortocircuito trifásico simétrico

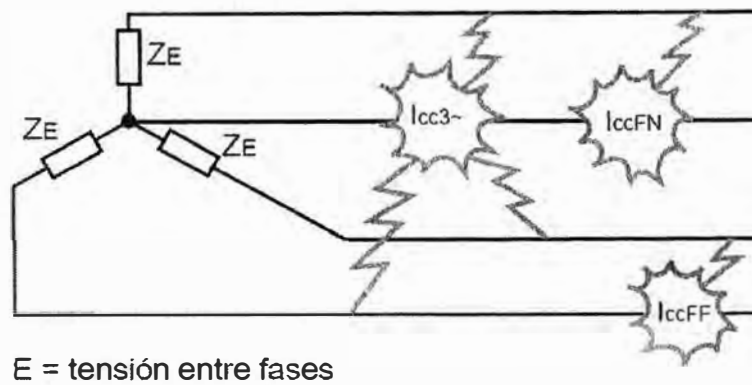


Fig 2.3 Corrientes del corto circuito trifásico

$$I_{CCFF} = \sqrt{3} E / (2Z_E + 2Z_L) \quad (2.1)$$

$$I_{CCFN} = E / (Z_E + 2Z_L) \quad (2.2)$$

$$I_{CC3} = E / (Z_E + Z_L) \quad (2.3)$$

Por eso la formula básica de cálculo de la componente simétrica es:

$$I_{cc} = E / Z_E + Z_L \quad (2.4)$$

E : Tensión de la fase.

Z_E : Impedancia equivalente en el secundario del transformador Δ/Y , medida entre fase y neutro

Z_L : Impedancia del conductor de fase

Si se considera también la impedancia del neutro

$$(Z_L = Z_{LF} + Z_{LN}) \quad (2.5)$$

la misma fórmula es válida para calcular la corriente estimada de corto circuito para las líneas monofásicas (fase – neutro)

Para las instalaciones en baja tensión la corriente estimada de cortocircuito se considera la componente simétrica.

Aunque las pruebas de capacidad interruptiva de los interruptores automáticos están basadas en la componente simétrica, no es correcto para fines de la protección de cortocircuito en B.T. tener en cuenta el valor pico de la corriente de cortocircuito.

2.3 Consecuencia de los cortocircuitos

Depende de la naturaleza y duración de los defectos, del punto de la instalación afectado y de la magnitud de la intensidad (figura 2.4):

- Según el lugar del defecto, la presencia de un arco puede:
 - Degradar los aislantes
 - Fundir los conductores
 - Provocar un incendio o representar un peligro a personas
- Según el circuito afectado, pueden presentarse:
 - Sobre-esfuerzos electrodinámicos, con:
 - Deformación de juego de barras
 - Arrancado o desprendimiento de los cables.
- Sobrecalentamiento debido al aumento de pérdidas por efecto Joule, con riesgo de deterioro de los aislantes. .
- Para los otros circuitos eléctricos de la red afectada o de redes próximas:
 - Bajadas de tensión durante el tiempo de la eliminación del defecto, de algunos milisegundos a varias centenas de milisegundos
 - Desconexión de una parte más o menos importante de la instalación, según el esquema y la selectividad de sus protecciones.
 - Inestabilidad dinámica y/o pérdida de sincronismo de las máquinas
 - Perturbaciones en los circuitos de mando y control.

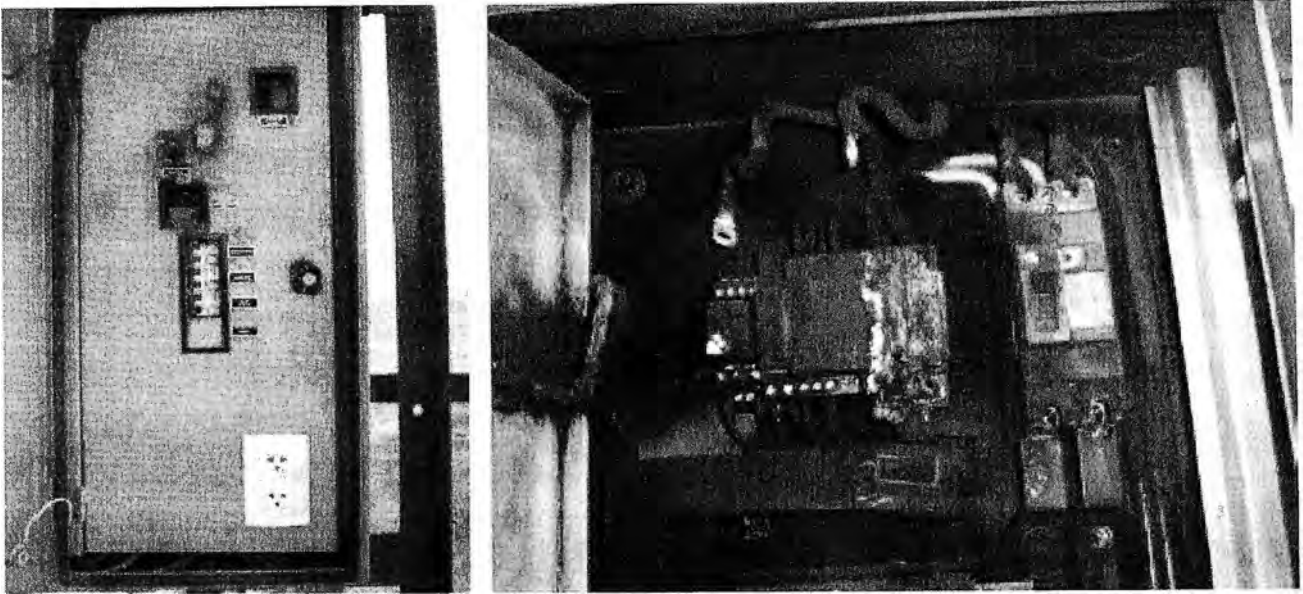


Fig 2.4 Cortocircuito de un tablero para una antena de telecomunicaciones Puno

2.4 Establecimiento de la intensidad de cortocircuito

Una red simplificada se reduce a una fuente de tensión alterna constante, una impedancia Z_{cc} , que representa todas las impedancias situadas aguas arriba del cortocircuito (conductores y transformadores) y una impedancia Z_s de la carga

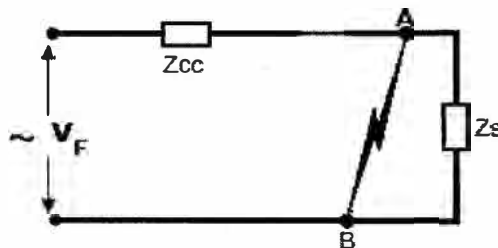


Fig 2.5 Esquema simplificado de una línea Eléctrica

$$I_{cc} = V_F / Z_{cc} \quad (2.6)$$

$$Z_{cc} = R + jX \quad (2.7)$$

En el esquema de la figura 2.5, circula por la red la intensidad de servicio I_s .

Cuando se produce un defecto de impedancia despreciable entre los puntos A y B, aparece una intensidad de cortocircuito, I_{cc} , muy elevada, limitada únicamente por la impedancia Z_{cc} .

Cuando se produce un cortocircuito se origina una corriente inicial de cortocircuito cuya amplitud disminuye gradualmente y se llega a un valor que se denomina corriente permanente de cortocircuito.

Se pueden producir dos casos:

- Corriente de cortocircuito simétrica. Si al instante de producirse el corto la fem del generador fuese máxima, la intensidad en este caso tiene forma simétrica.
- Corriente de cortocircuito asimétrica. Si al instante de producirse el corto la fem del generador fuese distinto de su valor máximo. La intensidad en sus inicios, tiene forma asimétrica, y la amplitud mayor que la anterior, pues a la componente alterna se le superpone una componente unidireccional.

La experiencia indica que la amplitud máxima de la corriente de corto circuito asimétrica tiene como valor medio 1.8 veces la amplitud de la corriente de cortocircuito simétrica (figura 2.6) y formulas 2.2 y 2.3

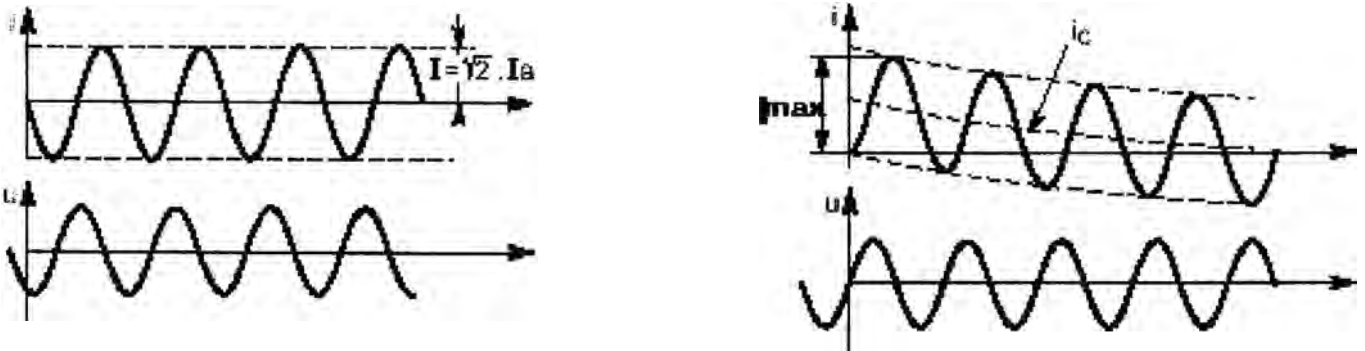


Fig 2.6 Curvas del comportamiento de la corriente I_{cc} simétrica y asimétrica

$$I_{max} = 1.8 \sqrt{2} I_{cc} \quad (2.8)$$

$$I_{max} = 1.8 \sqrt{2} V_n / Z_{cc} \quad (2.9)$$

CAPITULO III

METODOS DE CALCULO DE CORTOCIRCUITOS

3.1 Introducción

La determinación de los valores de cortocircuito en todos los puntos de una instalación es fundamental para la elección del material. Se empieza por evaluar dicho valor en el origen de la instalación y después en cualquier punto según diversos métodos cuya elección depende de la importancia de la instalación, de los datos disponibles, del tipo de comprobación a efectuar, etc.

Las normas proponen diversos métodos:

3.2 Valor de la corriente de cortocircuito I_{cc} en el origen de la instalación

3.2.1 Alimentación con transformador AT/BT

En caso de alimentación con un transformador AT/BT, debe considerarse no solo la impedancia del transformador, sino también la de la red AT anterior.

- **Impedancia de la red de AT**

La impedancia de la red AT, contemplada desde el lado BT, puede obtenerse del distribuidor, y medirse o calcularse a partir de las siguientes formulas

$$Z_Q = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{kQ}} \quad (\text{en } m\Omega) \quad \dots(3.1)$$

m : factor de carga en vacio tomado igual a 1.05

U_n : tensión nominal de la instalación entre fases, en Voltios

S_{kQ} : potencia de cortocircuito de la red AT, en kVA

En ausencia de datos precisos referentes al distribuidor de energía, la norma CEI 909 dice que se calculen las resistencias y reactancias (valor en $m\Omega$):

$$R_Q = 0,1 \times X_Q \quad (3.2)$$

$$X_Q = 0,995 \times Z_Q \quad (3.3)$$

- Impedancia del Transformador

$$Z_{Tr} = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{Tr}} \times \frac{U_{cc}}{100} \quad (\text{en m}\Omega) \quad (3.4)$$

m : Factor de carga en vacio, tomado igual a 1.05

U_n : Tensión nominal de la instalación entre fases, en voltios

S_{Tr} : Potencia asignada del transformador, en KVA

U_{cc} : Tensión de cortocircuito del transformador, en %.

Los valores de las resistencias y de las reactancias vienen determinados a veces por el constructor. En caso contrario, pueden calcularse utilizando las siguiente formulas (valores en m Ω)

$$R_{Tr} = 0.31 \times Z_{Tr} \quad (3.5) \quad X_{Tr} = 0.95 \times Z_{Tr} \quad (3.6)$$

Las siguientes tablas proporcionan los valores de resistencias, reactancias y cortocircuitos trifásicos máximos (impedancia AT nula) para los transformadores sumergidos y secos.

Los valores que figuran en los catálogos de los fabricantes pueden ser ligeramente inferiores, ya que generalmente se calculan para una tensión de 410V (tabla 3.1 y 3.2)

TABLA 3.1

Transformadores trifásicos sumergidos en un dieléctrico líquido.
Valores calculados para una tensión en vacio de 420 V

S (kVA)	50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
In (A)	69	137	220	275	344	433	550	687	866	1100	1375	1718	2200	2749	3437
U _{cc} (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
I _{cc3} (kA)	1,81	3,61	5,78	7,22	9,03	11,37	14,44	18,05	22,75	19,26	24,07	30,09	38,52	48,15	60,18
R _{Tr} (m Ω)	43,75	21,9	13,7	10,9	8,75	6,94	5,47	4,38	3,47	4,10	3,26	2,63	2,05	1,64	1,31
X _{Tr} (m Ω)	134,1	67	41,9	33,5	26,8	21,28	16,76	13,41	10,64	12,57	10,05	8,04	6,28	5,03	4,02

Transformadores trifásicos sumergidos en dieléctrico líquido

TABLA 3.2

Transformadores secos trifásicos.
Valores calculados para una tensión en vacio de 420 V

S (kVA)	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
In (A)	137	220	344	344	433	550	687	866	1100	1375	1718	2199	2479	3437
U _{cc} (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
I _{cc3} (kA)	2,41	3,85	4,81	6,02	7,58	9,63	12,04	15,17	19,26	24,07	30,09	38,52	48,15	60,18
R _{Tr} (m Ω)	32,8	20,5	16,4	13,1	10,42	8,2	6,56	5,21	4,10	3,26	2,63	2,05	1,64	1,31
X _{Tr} (m Ω)	100	62,8	50,3	40,2	31,9	25,1	20,11	15,96	12,57	10,05	8,04	6,28	5,03	4,02

Transformadores secos Trifásicos

3.2.2 Alimentación a través de un alternador

Los valores de corriente de cortocircuito pueden calcularse del siguiente modo:

$$I_{cc3} = c \times m \times U_0 / X'd \quad (3.5)$$

$$I_{cc2} = \sqrt{3} / 2 \times I_{cc3} \quad (3.6)$$

$$I_{cc1} = (3 \times c \times m \times U_0) / 2 \times X'd + X_0 \quad (3.7)$$

Reactancia transitoria en $m\Omega$

$$X'd = (U_n^2 / SG) (X'd / 100) \quad (3.8)$$

Reactancia de secuencia cero en $m\Omega$

$$X_0 = (U_n^2 / SG) (X_0 / 100) \quad (3.9)$$

m : Factor de carga en vacío, tomado igual a 1.05

C : Factor de tensión, tomado igual a 1.05 para valores máximos y a 0.95 para los valores mínimos

U_n : Tensión nominal entre fases, en Voltios

U_0 : Tensión entre fases y neutro, en Voltios

SG : Potencia del alternador , en KVA

$X'd$: Reactancia transitoria, en %, tomada igual al 30% a falta de información más precisa

X_0 : Reactancia de secuencia cero, en %, tomada igual a 6% a falta de información más Precisa

Debido a su elevada impedancia interna, los alternadores generan corrientes de corto circuito mucho más débiles que las generadas por transformadores de potencia equivalente.

Los poderes de corte de los aparatos de protección serán más pequeños pero, en contrapartida, la protección contra cortocircuitos y contactos indirectos será más difícil de obtener.

El desarrollo de un cortocircuito que aparece en los bornes de un alternador puede descomponerse en tres períodos:

- Periodo subtransitorio : de 10 a 20 ms, durante el cuál el nivel de cortocircuito es el más elevado ($> 5I_n$)
- Periodo transitorio : 200 a 300ms, durante el cuál el cortocircuito es del orden de 3 a $5I_n$.

- El nivel de cortocircuito se estabiliza a continuación a un nivel que puede ir de 0.3 a $5I_n$ en función del tipo de excitación del alternador.

Algunos niveles de cortocircuito trifásico en un alternador (Tabla 3.3)

TABLA 3.3

Niveles de cortocircuitos trifásicos máximos de un alternador en función de su potencia ($U_n = 400$ V y $x'd = 30\%$)

P (kVA)	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
I_{CC3max} (kVA)	0,53	0,85	1,06	1,33	1,67	2,12	2,65	3,34	4,24	5,30	6,63

Niveles de corto circuito de un alternador

3.3 Valores de cortocircuito en cualquier punto de la instalación

3.3.1 Método de las Impedancias

Con este método, se puede determinar el valor de un cortocircuito en cualquier punto de la instalación totalizando las resistencias y las reactancias del bucle de fallo desde la fuente hasta el punto en cuestión y calculando la impedancia equivalente.

Para aplicar este método es imprescindible conocer todas las características de los diferentes elementos del bucle o lazo de falla.

Los valores de cortocircuito se calculan entonces aplicando la ley de Ohm (formula general):

$$I_{cc} = \frac{c \times m \times U_0}{Z_{cc}} = \frac{c \times m \times U_0}{\sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}} \quad (3.10)$$

(Formula 3.10)

c : Factor de tensión tomado igual a 0.95 para los cortocircuitos mínimos y a 1.05 para los cortocircuitos máximos.

m : Factor de carga, tomando igual a 1.05

U_0 : Tensión de la instalación entre fase y neutro, en Voltios.

Z_{cc} : Impedancia total del bucle de fallo en el punto considerado. Es una suma vectorial de las resistencias y reactancias que componen el lazo o bucle.

Los diferentes tipos de cortocircuitos máximos y mínimos se deducen a partir de la siguiente fórmula general:

- **Corriente de cortocircuito trifásico**

$$I_{CC3\max} = \frac{C_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{\left(R_Q + R_S + R_{PhA} + \rho_0 \frac{L}{S_{Ph} \times n_{Ph}}\right)^2 + \left(X_Q + X_S + X_{PhA} + \lambda \frac{L}{n_{Ph}}\right)^2}} \quad (3.11)$$

- **Corriente de corto circuito bifásico**

$$I_{CC2\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{CC3\max} \quad (3.12)$$

Para calcular el valor mínimo del cortocircuito bifásico, hay que sustituir:

- ρ_0 por ρ_1 para una protección mediante interruptor automático, o por ρ_2 para una protección por fusible
- C_{\max} por C_{\min} .

- **Corriente de cortocircuito monofásico fase – neutro:**

$$I_{CC1\max} = \frac{C_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{\left(R_Q + R_S + R_{PhA} + R_{NA} + \rho_0 \times L \left(\frac{1}{S_{Ph} \times n_{Ph}} + \frac{1}{S_N \times n_N}\right)\right)^2 + \left(X_Q + X_S + X_{PhA} + X_{NA} + \lambda \left(\frac{1}{n_{Ph}} + \frac{1}{n_N}\right)\right)^2}} \quad (3.13)$$

Para calcular el valor mínimo del cortocircuito bifásico, hay que sustituir:

- ρ_0 por ρ_1 para una protección mediante disyuntor, o por ρ_2 para una protección con fusible
- C_{\max} por C_{\min}

• **Corriente de fallo:**

$$I_d = \frac{C_{\min} \times m \times \alpha \times U_0}{\sqrt{\left(R_Q + R_S + R_{PhA} + R_{PEA} + \rho_1 \times L \left(\frac{1}{S_{Ph} \times n_{Ph}} + \frac{1}{S_{PE} \times n_{PE}} \right) \right)^2 + \left(X_Q + X_S + X_{PhA} + X_{PEA} + \lambda \left(\frac{1}{n_{Ph}} + \frac{1}{n_{PE}} \right) \right)^2}} \quad (3.14)$$

C_{\max} , C_{\min} : factor de tensión, tomado igual a 0,95 (C_{\min}) para los cortocircuitos mínimos y a 1,05 (C_{\max}) para los cortocircuitos máximos

m : Factor de carga, tomado igual a 1,05

α : 1 en el esquema TN, 0,86 en el IT sin neutro y 0,5 en el IT con neutro

U_0 : Tensión de la instalación entre fase y neutro, en Voltios

R_Q , X_Q : Resistencia y reactancia equivalentes de la red

R_S , X_S : Resistencia y reactancia equivalentes de la fuente

R_{PhA} , X_{PhA} : Resistencia y reactancia de un conductor de fase desde la fuente hasta el origen del circuito considerado

R_{NA} , X_{NA} : Resistencia y reactancia de un conductor de neutro desde la fuente hasta el origen del circuito considerado

R_{PEA} , X_{PEA} : Resistencia y reactancia de un conductor de protección desde la fuente hasta el origen del circuito considerado

ρ_0 , ρ_1 , ρ_2 : Resistividad de los conductores (véase tabla 3.4)

L : longitud del circuito considerado, en m

S_{Ph} , n_N : sección y número de conductores en paralelo por fase del circuito considerado

S_N , n_N : sección y número de conductores en paralelo para el neutro del circuito considerado

S_{PE} , n_{PE} : sección y número de conductores en paralelo para el PE del circuito considerado

Las impedancias de los cables se calculan mediante las siguientes formulas:

$$R = \rho \times 10^3 \frac{L}{n_c \times S_c} \quad (\text{en } m\Omega) \quad (3.15)$$

ρ : resistividad del conductor , en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (véase cuadro adjunto)

S_c : sección del conductor , en mm^2

n_c : número de conductores en paralelo

L : longitud del conductor, e metros

$$X = \lambda \frac{L}{n_c} \quad (\text{en } m\Omega) \quad (3.16)$$

λ : reactancia lineal del conductor, en $m\Omega$ (véase cuadro adjunto)

Sc : sección del conductor, en mm^2

n_c : número de conductores en paralelo

L : longitud del conductor, e mts

Valores de algunos parámetros para conductores de cobre y/o aluminio (tablas 3.4 y 3.5)

TABLA 3.4

Resistividad de los conductores a utilizar en función del tipo de cortocircuito calculado (ρ_0 : resistividad de los conductores a 20 °C)

Fallo	Resistividad	Conductor Cu ($\Omega mm^2/m$)	Conductor Al ($\Omega mm^2/m$)
Icc máxima	ρ_0	0,01851	0,0294
Icc mínima	Interruptor $\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0,02314	0,0368
	Fusible $\rho_1 = 1,5 \rho_0$	0,02777	0,0441
Id	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0,02314	0,0368
Requisitos térmicos	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0,02314	0,0368

Resistividad de conductores en función de corto circuito calculado

TABLA 3.5

Reactancia lineal de los conductores a utilizar en función del tipo de cable y de su modo de montaje

Cables y montajes	Reactancia lineal λ ($m\Omega / m$)
Cables multiconductores o monoconductores trenzados	0,08
Cables monoconductores contiguos en capa	0,09
Cables monoconductores separados por más de un diámetro	0,13

Reactancia de conductores en función del tipo de cable y tipo de montaje

3.3.2 Método de la composición

Este método es una aproximación simplificada. Conociendo la corriente del cortocircuito trifásico en el origen de la instalación, permite evaluar la corriente de cortocircuito presumible I_{cc3} en el extremo de una canalización de longitud y sección dadas: Este método se aplica a instalaciones cuya potencia no sobrepasa los 800KVA.

La corriente máxima de cortocircuito en cualquier punto de la instalación se determina mediante el siguiente cuadro, partiendo:

- Del valor de cortocircuito presumible en la cabeza de la instalación
- De la longitud de la línea
- De la naturaleza y sección de los conductores

CAPITULO IV

CONCEPTOS COMPLEMENTARIOS AL CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

4.1 Protección contra las sobrecargas

La norma IEC 364 establece que los circuitos de una instalación (salvo algunas excepciones) deben estar provistos de un equipo de protección adecuado, para interrumpir la corriente de sobrecarga antes de que provoque un calentamiento excesivo que dañe el aislamiento del cable o el equipo conectado en el circuito.

Para asegurar la protección de acuerdo con la norma IEC 364 es necesario que se cumplan las siguientes reglas:

- Regla 1) $I_B \leq I_n \leq I_z$
- Regla 2) $I_f \leq 1.435 I_z$

Donde:

I_B Corriente demandada por la carga del circuito

I_n Corriente nominal del Interruptor

I_z Capacidad de conducción de corriente del cable

I_f Corriente convencional de disparo del interruptor automático

La regla 1 satisface las condiciones generales de protección contra sobrecarga.

La regla 2 se emplea para la protección contra sobrecarga; un interruptor automático requiere que la corriente de funcionamiento seguro I_f , no sea nunca superior a $1.45 I_n$ ($1.3 I_n$ según IEC 947-2 o $1.45 I_n$ según IEC 898)

$I_f = 1.45 I_n$ (para interruptores residenciales)

$I_f = 1.30 I_n$ (para interruptores industriales)

I_f se debe verificar siempre en caso de que el dispositivo de protección sea un fusible
Analizando la regla general de protección $I_B \leq I_n \leq I_z$ resulta evidente que se pueden realizar dos condiciones de protección distintas:

La condición de protección máxima (figura 4.1), utilizando un interruptor con una corriente nominal próxima o igual a la corriente demandada I_B

La condición de protección mínima (figura 4.2), escogiéndolo con una corriente nominal próxima o igual a la máxima capacidad de conducción de corriente del cable.

Esta claro que escogiendo la condición de protección máxima se puede presentar la situación de afectar la continuidad del servicio, aunque estará garantizada la operación del interruptor aún en casos de cargas anormales que puedan soportarse.

Por otra parte la selección de un interruptor con una corriente calibrada igual a la capacidad de conducción del cable, llevaría a la máxima continuidad del servicio y al máximo aprovechamiento del cobre instalado.

Condición de máxima protección $I_n = I_B$

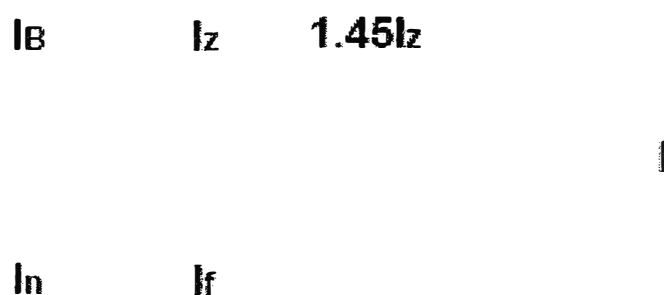


Fig 4.1 Condición de protección máxima

Condición de mínima protección $I_n = I_z$

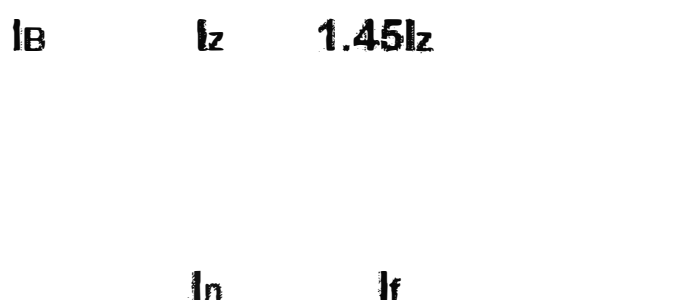


Fig 4.2 Condición de protección mínima

4.2 Coordinación o Filiación

La coordinación o filiación contemplada en la Norma IEC 364 y 947-2 tiene por objetivo la optimización económica de una instalación eléctrica, utilizando el poder de limitación de los equipos de protección (Interruptores automático)

Esta autoriza la utilización de interruptores automáticos que tengan una capacidad de ruptura inferior a la corriente de cortocircuito presunta en su punto de utilización, con la condición de que se ubique aguas arriba un equipo de protección que posea la capacidad de ruptura requerida.

El o los equipos situados aguas abajo pueden estar instalados en el mismo tablero que el equipo corrientes arriba (asegurando esta coordinación) o en un tablero corrientes abajo.

Las coordinaciones solo pueden ser entregadas por los fabricantes de acuerdo a sus ensayos.

4.2.1 Coordinación entre equipos corrientes arriba y corrientes abajo

El poder de corte de un equipo de protección debe ser al menos igual al cortocircuito máximo susceptible de producirse en el lugar en que dicho equipo esta instalado.

Se admite que el poder de corte sea inferior al cortocircuito máximo presumible, con las siguientes condiciones.

- Que este asociado a un equipo instalado antes que el con el poder de corte necesario en su propio punto de instalación.
- Que la energía limitada por la asociación de los equipos pueda ser soportada por el equipo situado a continuación en la instalación.

Por lo tanto, la asociación permite realizar ahorros sustanciales. (figura 4.3)

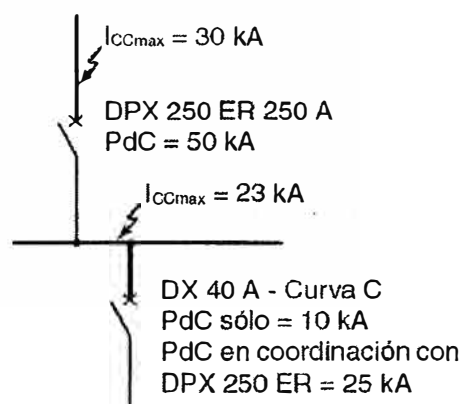


Fig 4.3 Coordinación de dos equipos de protección

4.2.2 Coordinación a 3 niveles

La coordinación puede realizarse a tres niveles (figura 4.4), si se cumple al menos una de las siguientes condiciones:

- El equipo A situado corriente arriba de la instalación debe tener un poder de corte suficiente en su punto de instalación. El equipo B y el equipo C se asocian con el equipo A. Basta comprobar si los valores de asociación B+A y C+A tienen los poderes de corte necesarios. En este caso, no hace falta comprobar la asociación entre los aparatos B y C.
- La coordinación se realiza entre equipos sucesivos, teniendo el primer equipo A un poder de corte suficiente en su punto de instalación el equipo C se asocia con el equipo B que, a su vez, se asocia con el equipo A. Basta comprobar que los valores de asociación C+B y B+A tienen los poderes de corte necesarios. En este caso, no hace falta comprobar la asociación entre los equipos A y C.

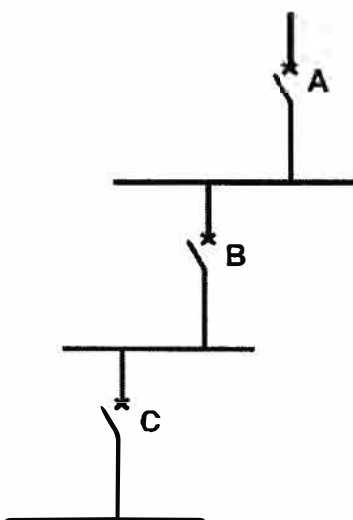


Fig 4.4 Coordinación de 3 niveles de equipos de protección

4.3 Selectividad de los equipos de protección

La selectividad es una técnica que consiste en coordinar las protecciones de manera que una falla en un circuito, no active más que la protección situada en la cabecera de dicho circuito, evitando inutilizar el resto de la instalación. La selectividad mejora la continuidad del servicio y la seguridad de la instalación (figura 4.5)

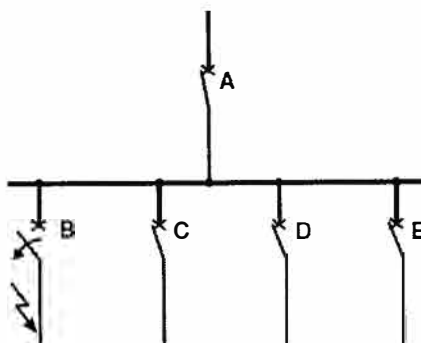


Fig 4.5 Selectividad entre dos equipos de protección

La selectividad entre A y B recibe el nombre de “total” si esta garantizada hasta el valor de cortocircuito máximo presumible en el lugar donde B esta instalado.

En los demás casos, la selectividad entre A y B recibe el nombre de “parcial”.

Se puede definir pues un límite de selectividad que indique el valor de la corriente de cortocircuito por debajo del cuál sólo se abrirá el interruptor automático B y por encima del cuál se abrirá también A.

Para verificar que 2 equipos de protección son selectivos entre si, los fabricantes ponen a disposición tablas y curvas de operación.

Existen varias técnicas que permiten realizar la selectividad:

- Selectividad amperimétrica, utilizada para circuitos terminales con corto circuitos débiles.
- Selectividad cronométrica, garantizada por un retardo de la activación del equipo de protección situado corrientes arriba.
- Selectividad Lógica, variante de la selectividad cronométrica, utilizada en equipos de protección electrónica, gracias a una conexión específica entre los equipos de protección.

4.3.1 Selectividad amperimétrica

Esta técnica se basa en el desfase en intensidad de las curvas de disparo de los equipos de protección automáticos situados antes y después. Se verifica comparando dichas curvas y comprobando que no se solapan. Se aplica a la zona de sobrecargas y a la de cortocircuitos y es tanto mejor cuanto más difieren entre sí los calibres de los equipos

- En sobrecargas

Para que haya selectividad en la zona de sobrecargas, el índice de las corrientes de ajuste (I_r) debe ser al menos igual a 2.

- En cortocircuitos

Para que haya selectividad en la zona de cortocircuitos (figura 4.6), el índice de las corrientes de ajuste magnético (I_m) debe ser al menos igual a 1,5. El límite de selectividad es pues igual a la corriente de disparo magnética I_{mA} del equipo automático situado antes. Por lo tanto, la selectividad es total mientras I_{CCB} sea inferior a I_{mA} . La selectividad amperimétrica se adapta bien a los circuitos terminales, donde los niveles de cortocircuitos son relativamente bajos. En los otros casos, la selectividad amperimétrica debe completarse a veces con una selectividad cronométrica.

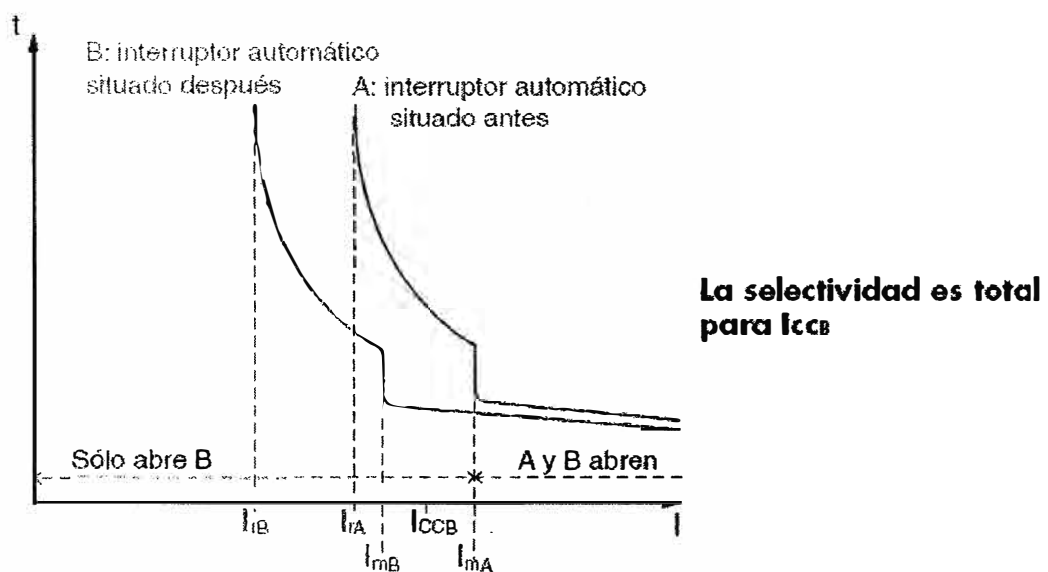


Fig 4.6 Selectividad en zona de cortocircuitos entre dos equipos de protección

4.3.2 Selectividad cronométrica

Esta técnica se basa en el desfase de tiempo de las curvas de disparo de los interruptores automáticos en serie. Se comprueba comparando las curvas y se aplica a la selectividad en la zona de cortocircuitos. (figura 4.7) Se utiliza como complemento de la selectividad amperimétrica a fin de obtener una selectividad superior a la corriente de ajuste magnético del interruptor automático situado antes (I_{mA}).

Por lo tanto, es preciso que:

- El equipo automático situado antes sea temporizable
- El equipo automático situado antes sea capaz de soportar la corriente de cortocircuito y sus efectos durante toda la temporización

Las canalizaciones recorridas por dicha corriente puedan soportar los esfuerzos térmicos (I^2t).

El tiempo de no disparo del aparato situado antes debe ser superior a la duración de corte (incluyendo una eventual temporización) del aparato situado después.

Los equipos automáticos poseen varias posiciones de ajuste de su temporización a fin de realizar una selectividad a varios niveles.

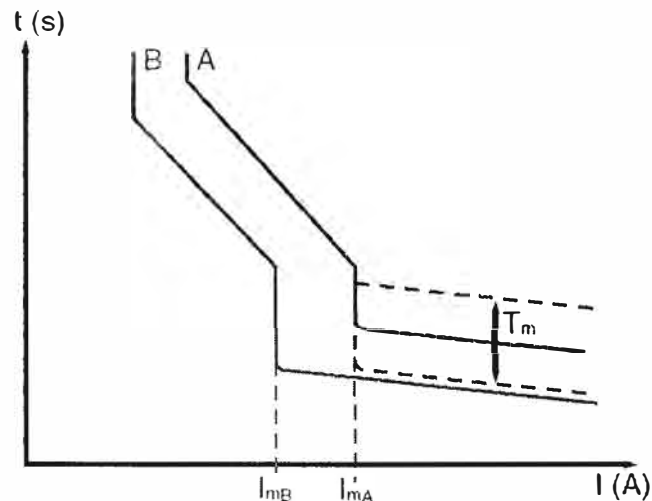


Fig 4.7 Selectividad cronométrica entre dos equipos de protección

4.3.3 Selectividad lógica

Se realiza entre dos equipos que se comunican a través de una conexión específica. Cuando el interruptor automático situado después detecta un fallo, envía una señal al aparato situado antes, el cual asumirá una temporización de 50 ms. Si el aparato situado después no ha podido eliminar el fallo en ese lapso de tiempo, intervendrá el aparato situado antes. Los activadores electrónicos de los equipos automáticos están diseñados para llevar a cabo una selectividad lógica.

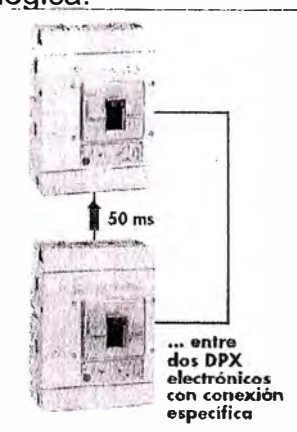


Fig 4.8 Selectividad lógica entre dos equipos electrónicos de protección

CAPITULO V

EQUIPOS DE PROTECCION ELECTRICA

5.1 Interruptor termomagnético

Un interruptor automático es al mismo tiempo un dispositivo de corte capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes de una intensidad igual como máximo a su corriente asignada (I_n), y un dispositivo de protección capaz de interrumpir automáticamente corrientes de sobreintensidades que pueden ser provocadas por fallas en las instalaciones.

Los interruptores automáticos se dividen en dos grandes categorías: los interruptores de potencia (caja moldeada), y los interruptores modulares.

La elección de las características de un interruptor está condicionada por el dimensionado de la instalación.

5.2 Principales componentes en un interruptor termomagnético

La detección de sobreintensidades se realiza mediante tres dispositivos diferentes: térmicos para sobrecargas, magnéticos para cortocircuitos y electrónicos para ambos. Los interruptores térmicos y magnéticos, generalmente asociados (interruptores automáticos magnetotérmicos), poseen una técnica probada y económica, si bien ofrecen menos facilidades de regulación que los interruptores electrónicos.

5.2.1 Relé térmico

Está constituido por un termoelemento cuyo calentamiento por encima de los valores normales de funcionamiento provoca una deformación que libera el cierre de bloqueo de los contactos. El tiempo de reacción de un termoelemento es inversamente proporcional a la intensidad de la corriente. Debido a su inercia térmica, cada nueva activación del circuito disminuirá su tiempo de reacción. Los interruptores automáticos DPX permiten regular la corriente de activación I_r entre determinados límites (0,4 a 1 I_n , según los modelos).

5.2.2 Relé Magnético

Está constituido por un bucle magnético cuyo efecto libera el cierre de bloqueo de los contactos, provocando así el corte en caso de sobreintensidad elevada. El tiempo de respuesta es muy corto (del orden de una centésima de segundo). Los interruptores de potencia poseen un ajuste de I_m (hasta $10 \times I_r$) que permite ajustar el valor de disparo a las condiciones de protección de la instalación (corriente de fallo y contacto indirecto). Además, dicho ajuste permite buscar las mejores condiciones de selectividad entre los equipos.

5.2.3 Relé electrónico

Un toroidal, situado en cada conductor, mide permanentemente la corriente en cada uno de ellos. Esta información es tratada por un módulo electrónico que acciona el disparo del interruptor cuando se sobrepasan los valores de ajuste. La curva del interruptor presenta tres zonas de funcionamiento:

- Zona de funcionamiento «instantáneo».
Garantiza la protección contra cortocircuitos de alta intensidad. Viene ajustada de fábrica a un valor determinado (5 a 20 kA según los modelos).
- Zona de funcionamiento de «retardo corto».
Garantiza la protección contra cortocircuitos de intensidad menor, generalmente en el extremo de línea. El umbral de activación suele ser regulable. La duración del retardo puede llegar por pasos hasta un segundo a fin de garantizar la selectividad con los aparatos situados a continuación.
- Zona de funcionamiento de «retardo largo».
Es asimilable a la característica de un interruptor térmico. Permite garantizar la protección de los conductores contra sobrecargas.

5.3 Arco eléctrico

El corte de la corriente tiene lugar en la cámara de corte del interruptor, concebida para controlar el arco eléctrico (figura 5.1), que se produce al abrirse los contactos. La energía del arco puede llegar a ser considerable, de hasta 100kilojulios y 20,000°C, pudiendo provocar la erosión de los contactos por vaporización del metal. Por lo tanto, conviene “extinguir” el arco lo antes posible para reducir sus efectos.

El arco magnético producido por el arco (que es un conductor) se utiliza para llevarlo a una “cámara de corte “y estirarlo hasta su extinción.

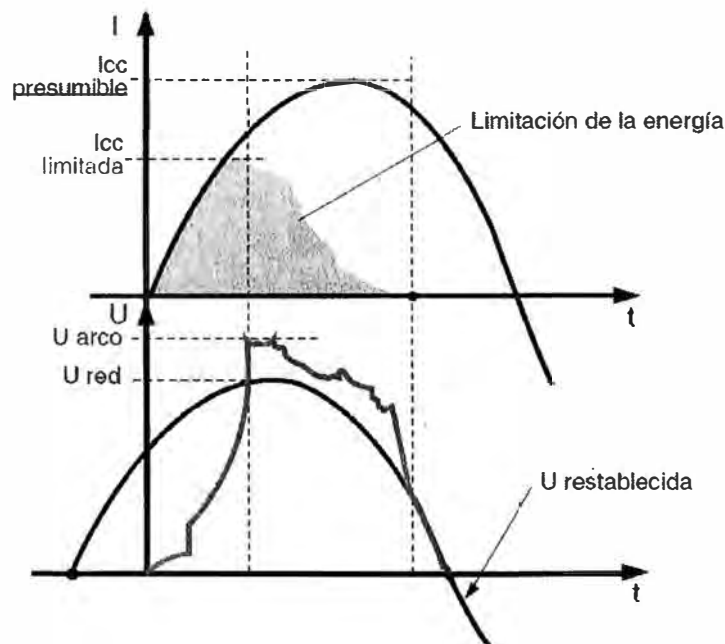


Fig 5.1 Comportamiento de un interruptor termomagnético limitador

5.4 Coeficiente de limitación del interruptor automático termomagnético

Todos los dispositivos de interrupción automática contra cortocircuito presentan (después del tiempo del pre-arco) una resistencia al arco que impide, al final de la primera semionda, llegar al valor de pico I_p como se muestra en la figura 5.2 .

Se llama coeficiente de limitación C del aparato a la relación entre la corriente efectiva de pico I_{pL} y la corriente de pico teórica I_p

$$C = I_{pL}/I_p$$

El coeficiente de limitación C está en relación directa del tiempo de pre-arco y en relación inversa de la tensión de arco.

De la figura que ilustra a tal fenómeno se puede deducir que también los interruptores de tipo estándar con tiempo largo de pre-arco (3ms) y muy bajo valor de tensión de arco (25% de V_{max} de red) tienen coeficiente de limitación de alrededor de 0.8 (limitando cerca del 20% de la corriente de pico teórica)

La última generación de interruptores limitadores puede tener tiempos de pre-arco inferiores a 1ms y elevada tensión de arco obteniendo coeficientes de limitación inferiores a 0.2.

Esto significa que una corriente de pico teórica de 10KA (que corresponde a una I_{cc} 6KA) está limitada solo a 2KA (que corresponden a una $I_{cc} = 1.5KA$)

Esta teoría de evaluación de la eficacia de los interruptores obtenida del diagrama I_p/I_{cc} , explica que el poder de interrupción de los limitadores es superior comparados con los interruptores de tipo rápido de las mismas dimensiones.

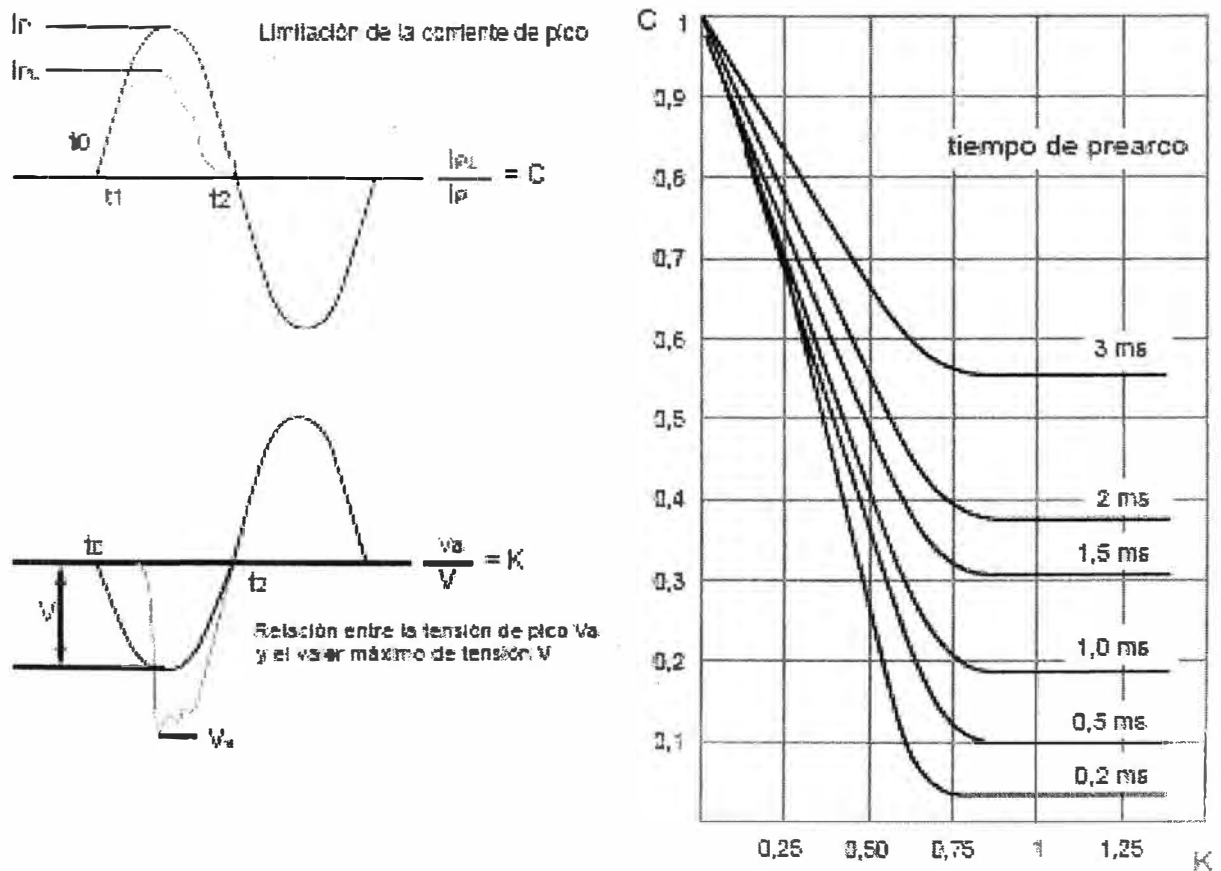


Fig 5.2 Coeficiente de limitación C en función del tiempo de pre-arco y de la tensión de arco

5.5 Características de los interruptores termomagnéticos

5.5.1 Tensión de utilización asignada U_e (en V)

Tensión o tensiones bajo las que puede utilizarse el interruptor. El valor dado es generalmente el máximo. A tensiones inferiores, ciertas características pueden ser diferentes, incluso mejores, como el poder de corte.

5.5.2 Tensión de aislamiento U_i (en V)

Este valor sirve de referencia para las características de aislamiento del aparato. Sobre esta base se determinan las tensiones de prueba dieléctrica (onda de choque, frecuencia industrial).

5.5.3 Tensión de choque U_{imp} (en kV)

Este valor caracteriza la aptitud del aparato para resistir sobretensiones transitorias debidas al rayo (onda normalizada 1,2/50 μ s).

5.5.4. Corriente asignada I_n (en A)

Es el valor máximo de corriente que el interruptor puede soportar de manera permanente. Este valor viene siempre dado para una temperatura ambiente en torno al aparato de 40°C según la norma CEI 60947-2, y de 30 °C según la norma CEI 60898. Si la temperatura a la que se utiliza el aparato es superior, puede ser necesario disminuir la corriente de utilización

5.5.5 Poder de corte último I_{cu} (en kA)

Es el valor máximo de corriente de cortocircuito que puede cortar un interruptor automático bajo una tensión y un desfase ($\cos \varnothing$) determinados. Las pruebas se realizan siguiendo el orden O – t – CO; O representa una maniobra de apertura, t un intervalo de tiempo y CO una maniobra de cierre seguida de una maniobra de apertura automática. Después de la prueba, el interruptor debe seguir proporcionando un cierto nivel de seguridad mínimo (seccionamiento, comportamiento dieléctrico).

En la norma CEI 60898, el poder de corte del aparato se prueba de la misma manera, pero recibe el nombre de I_{cn} . Tras la prueba, el interruptor debe conservar sus propiedades dieléctricas y poder activarse según las especificaciones de la norma.

5.5.6 Poder de corte de servicio I_{cs}

Es el valor de I_{cu} expresado en porcentaje, entre los valores: 25% (categoría A solamente), 50%, 75% ó 100%. El automático debe poder funcionar normalmente tras haber cortado varias veces la corriente I_{cs} siguiendo la secuencia O-CO-CO. La norma CEI 60898 indica los valores mínimos que deben alcanzarse en función de la I_{cn} del aparato. Durante la explotación, es muy raro que un interruptor automático tenga que cortar la corriente máxima de cortocircuito presumible (que ha servido para determinar su poder de corte mínimo). Por el contrario, podrá verse obligado a cortar corrientes más débiles. Si son inferiores a la I_{cs} del aparato, significa que podrá continuar siempre funcionando correctamente tras el corte y que la instalación podrá volver a ponerse en marcha inmediatamente. Cabe señalar que hasta el momento, pocas o ninguna norma de instalación hacen referencia a la I_{cs} .

5.5.7 Corriente de corta duración admisible I_{cw} (en kA)

Es el valor de la corriente de cortocircuito que un interruptor automático de categoría B es capaz de soportar durante un periodo determinado sin que sus características se alteren. Este valor está destinado a permitir la selectividad entre aparatos. El interruptor en cuestión puede permanecer cerrado durante el tiempo de eliminación del fallo mediante el dispositivo situado a continuación, en tanto en cuanto la energía I^2t no sobrepase el valor de I_{cw}^2 (1 s).

Por convenio, el valor I_{cw} viene dado para un tiempo $t = 1$ s. Para otra duración t , ésta deberá indicarse, por ejemplo $I_{cw_{0,2}}$. Será conveniente entonces comprobar que la limitación térmica I^2t , generada hasta el corte del dispositivo situado a continuación, es efectivamente inferior a I_{cw}^2t .

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Actualmente en nuestro país, las diferentes e importantes inversiones de diversas empresas transnacionales en diferentes sectores obligan a replantear los enfoques en el diseño de un proyecto eléctrico, ampliando y considerando otros conceptos que añadirán valor técnico y equilibrio en los costos del mismo.
2. Algunas transnacionales importantes foráneas con inversiones en el país están desarrollando sus diseños en sus respectivos países, dejando de lado al profesional local. Cabe anotar que en la comparación de dicha ingeniería se nota la diferencia, favoreciendo poco al desarrollo local entre otras cosas por falta de conocimiento del mismo
3. El análisis y diseño incluyendo otros conceptos permiten entender mejor el proyecto eléctrico como un sistema, de una manera más completa, si no los consideramos como por ejemplo el poder de corte, estamos desde ya entre otras cosas determinando valores o parámetros que nos llevarán finalmente a seleccionar equipos de protección no adecuados técnica ni econonómicamente En tal sentido, un sistema eléctrico bajo estas consideraciones tendrá poca confiabilidad y seguridad en su servicio.
4. La utilización y difusión de estos conceptos contribuirá a ordenar la confusión existente todavía en nuestro sector de la baja tensión, y no encontrarnos con técnicos que solicitan e instalan equipos de protección con poder de corte por ejemplo de más de 70KA en muchas edificaciones para uso residencial, comercial e industrial en los cuáles el punto de alimentación para toda la edificación no supera los 50KA.
5. Actualmente ya se cuenta en el mercado con diferentes recursos para determinar el poder de corte, selectividad, filiación, y otros parámetros de cualquier sistema eléctrico, ya que son proporcionadas por las diferentes empresas que fabrican los equipos de protección, ya que ellas destinan parte de sus recursos en investigación y desarrollo.

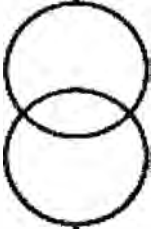

6. Si bien algunas marcas contribuyen a la difusión y capacitación a los diversos actores del mercado eléctrico, los centros de formación profesional y/o técnica también deberán actualizar sus diversos contenidos y procurar la enseñanza y uso adecuado de los conceptos eléctricos.

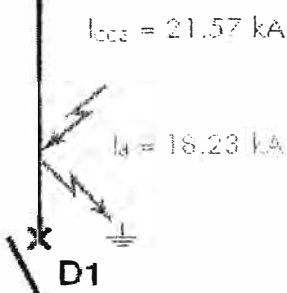
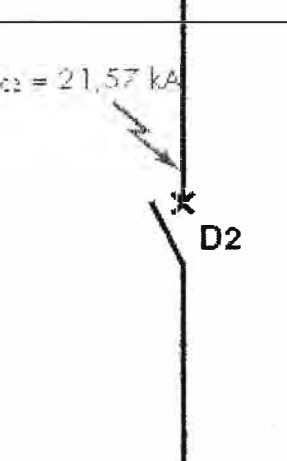
ANEXOS

ANEXO B

En este ejemplo se realiza un cálculo completo de instalación según el método de las impedancias. En el campo de la protección de personas, también se realiza un cálculo completo de la corriente de fallo, siendo ésta, en el ejemplo, siempre inferior al cortocircuito monofásico, por lo que servirá de referencia para la regulación de los relés magnéticos de los interruptores automáticos.

Sea una instalación en esquema TN 230/400 V, alimentada por un transformador AT/BT de 630 kVA (U_{cc} : 4%), siendo la potencia de cortocircuito de la red HT de 500MVA.

	$S_{kD} = 500 \text{ MVA}$	<p>Red AT</p> $Z_D = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{kD}} = \frac{(1,05 \times 400)^2}{500000} = 0,353 \text{ m}\Omega$ $X_D = 0,995 \times Z_D = 0,351 \text{ m}\Omega \text{ et } R_D = 0,1 \times X_D = 0,035 \text{ m}\Omega$ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_D = 0,035 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$X_D = 0,351 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$\Sigma R = 0,035 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$\Sigma X = 0,351 \text{ m}\Omega$</td> </tr> </table>	$R_D = 0,035 \text{ m}\Omega$	$X_D = 0,351 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 0,035 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 0,351 \text{ m}\Omega$
$R_D = 0,035 \text{ m}\Omega$	$X_D = 0,351 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 0,035 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 0,351 \text{ m}\Omega$			
	$S_{Tr} = 630 \text{ kVA}$ $U_{cc} = 4 \%$ $I_n = 866 \text{ A}$	<p>Transformador AT/BT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de I_{cc3} $Z_{Tr} = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{Tr}} \times \frac{U_{cc}}{100} = \frac{(1,05 \times 400)^2}{630} \times \frac{4}{100} = 11,2 \text{ m}\Omega$ $R_{Tr} = 0,31 \times Z_{Tr} = 3,472 \text{ m}\Omega \text{ et } X_{Tr} = 0,95 \times Z_{Tr} = 10,640 \text{ m}\Omega$ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_{Tr} = 3,472 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$X_{Tr} = 10,640 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$\Sigma R = 3,507 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$\Sigma X = 10,991 \text{ m}\Omega$</td> </tr> </table> $\Rightarrow I_{cc3} = \frac{1,05 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{3,507^2 + 10,991^2}} = 22,07 \text{ kA}$	$R_{Tr} = 3,472 \text{ m}\Omega$	$X_{Tr} = 10,640 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 3,507 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 10,991 \text{ m}\Omega$
$R_{Tr} = 3,472 \text{ m}\Omega$	$X_{Tr} = 10,640 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 3,507 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 10,991 \text{ m}\Omega$			
	<p>Cobre/PR</p> $S_f = 2 \times 185 \text{ mm}^2$ $S_N = 2 \times 185 \text{ mm}^2$ $S_{PE} = 1 \times 95 \text{ mm}^2$ $I_b = 866 \text{ A}$ $I_z = 1054 \text{ A}$ $L = 5 \text{ m}$	<p>Cable de llegada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de I_{cc3} $R_c = \rho_0 \times 10^3 \times \frac{L}{n_f \times S_f} = 0,01851 \times 10^3 \times \frac{5}{2 \times 185} = 0,250 \text{ m}\Omega$ $X_c = \lambda \times \frac{L}{n_f} = 0,08 \times \frac{5}{2} = 0,200 \text{ m}\Omega$ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_c = 0,250 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$X_c = 0,200 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$\Sigma R = 3,757 \text{ m}\Omega$</td> <td style="padding: 2px;">$\Sigma X = 11,191 \text{ m}\Omega$</td> </tr> </table> $\Rightarrow I_{cc3} = \frac{1,05 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{3,757^2 + 11,191^2}} = 21,57 \text{ kA}$	$R_c = 0,250 \text{ m}\Omega$	$X_c = 0,200 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 3,757 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 11,191 \text{ m}\Omega$
$R_c = 0,250 \text{ m}\Omega$	$X_c = 0,200 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 3,757 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 11,191 \text{ m}\Omega$			

		<p>• Cálculo de I_d</p> $R_c = \rho_1 \times 10^9 \times L \left(\frac{1}{n_1 \times S_r} + \frac{1}{n_{PE} \times S_{PE}} \right) = 0,02314 \times 10^9 \times 5 \left(\frac{1}{2 \times 185} + \frac{1}{95} \right) = 1,53 \text{ m}\Omega$ $X_c = \lambda \times L \left(\frac{1}{n_r} + \frac{1}{n_{PE}} \right) = 0,08 \times 5 \left(\frac{1}{2} + 1 \right) = 0,600 \text{ m}\Omega$ <table border="1" data-bbox="566 392 1460 459"> <tr> <td>$R_c = 1,531 \text{ m}\Omega$</td> <td>$X_c = 0,600 \text{ m}\Omega$</td> <td>$\Sigma R = 5,038 \text{ m}\Omega$</td> <td>$\Sigma X = 11,591 \text{ m}\Omega$</td> </tr> </table> $\Rightarrow I_d = \frac{0,95 \times 1,05 \times 231}{\sqrt{5,038^2 + 11,191^2}} = 18,23 \text{ kA}$	$R_c = 1,531 \text{ m}\Omega$	$X_c = 0,600 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 5,038 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 11,591 \text{ m}\Omega$
$R_c = 1,531 \text{ m}\Omega$	$X_c = 0,600 \text{ m}\Omega$	$\Sigma R = 5,038 \text{ m}\Omega$	$\Sigma X = 11,591 \text{ m}\Omega$			
		<p>Elección y ajustes del automático de cabeza D1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calibre (I_n) Deberá ser igual al menos a I_d. Entre las soluciones ofrecidas, tomaremos un DPX 1600 de calibre 1.600 A para permitir una evolución posterior de la instalación. • Poder de corte $PdC \geq I_{cc} \Rightarrow PdC \geq 21,57 \text{ kA}$. El poder de corte del DPX 1600 es de 50 kA. • Número de polos $3P + N/2$ • Regulación del térmico (I_r) $I_d \leq I_r \leq I_z \Rightarrow 866 \leq I_r \leq 1054 \text{ A}$. La regulación por lo tanto deberá estar entre $\frac{866}{1600} = 0,54$ y $\frac{1054}{1600} = 0,64$. Tomaremos $I_r = 0,6 \times I_n$ es decir $I_r = 960 \text{ A}$. • Regulación del magnético (I_m) $I_m \leq \frac{I_d}{1,2}$ I_d: el fallo más pequeño en el extremo de línea (nivel del juego de barras) 1,2: considerando una tolerancia del 20% sobre la curva de activación $I_m \leq \frac{18230}{1,2} \Rightarrow I_m \leq 15191 \text{ A}$ La regulación máxima posible es: $I_m = 10 \times I_r = 9600 \text{ A}$. 				
Juego de barras		Por regla general, las impedancias de los juegos de barras son despreciables.				
		<p>Elección y ajustes del automático de salida D2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calibre (I_n) Debe ser al menos igual a I_d. Escogeremos un DPX 250 ER de calibre 250 A. • Poder de corte $PdC \geq I_{cc} \Rightarrow PdC \geq 21,57 \text{ kA}$. El poder de corte del DPX 250 ER es de 50 kA. • Número de polos $3P + N/2$ • Regulación del térmico (I_r) $I_d \leq I_r \leq I_z \Rightarrow 250 \leq I_r \leq 269 \text{ A}$. La regulación máxima es: $I_r = 1 \times I_n = 250 \text{ A}$. • Regulación del magnético (I_m) $I_m \leq \frac{I_d}{1,2} \Rightarrow I_m \leq \frac{4390}{1,2} \Rightarrow I_m \leq 3658 \text{ A}$. La regulación es: $I_m = 10 \times I_n = 2500 \text{ A}$. 				

ANEXO C

TABLAS DE SELECTIVIDAD

Enseguida se muestran las diversas tablas de selectividad entre los interruptores automáticos Bticino que están en conformidad con lo establecido en la Norma IEC 947-2. Las tablas de coordinación se presentan para los diferentes valores de tensión de alimentación en los sistemas trifásicos y monofásicos

- 230/240Vc.a
- 440Vc.a
- 480Vc.a

Los valores mostrados representan los límites de selectividad (expresado en kA) alcanzables por los dispositivos puestos corrientes abajo considerando la capacidad interruptiva tanto del equipo puesto corrientes arriba como el instalado corrientes abajo en conformidad con la normas IEC 947-2.

La letra "T" indica la selectividad total hasta el límite de la capacidad interruptiva del dispositivo puesto corrientes abajo. El símbolo "*" indica en cambio que el límite de selectividad coincide con el valor de disparo magnético del dispositivo corrientes arriba.

Los datos indicados en las tablas, en el caso de coordinación de dispositivos con regulación magnética, están referidos a su máximo valor de regulación. En el caso contrario de coordinación con dispositivos predispuestos con regulación de tiempos de disparo los valores indicados en las tablas se consideran con regulación de los tiempos a "0" (Disparo instantáneo).

Ejemplo de verificación de la selectividad

Para entender mejor la aplicación de las tablas de selectividad ver el ejemplo siguiente. Se quiere determinar el límite de selectividad con la coordinación entre un interruptor Megatiker ME125B con $I_n=125A$ puesto arriba y un interruptor Btdin 60 con $I_n=32A$ en un sistema monofásico a 230Vc.a.

Tomar en consideración la tabla de coordinación, posicionarse en el interruptor ME125B sobre el valor de 125A. Recorrer sobre la columna correspondiente al valor 125A hasta interceptar el valor correspondiente con el interruptor Btdin 60 a 32A.

El valor relevante es 8kA. Tal valor es el límite de selectividad de la coordinación, bajo el cual se tiene solo el disparo del Btdin 60 y por arriba de este valor se puede presentar la intervención del Megatiker ME125B.

Selectividad: Megatiker corrientes arriba y Btdin corrientes abajo (sistema monofásico)

220V~ Trifásico

		MA125				ME125B/N				ME160B/N/H		MA/MH/ML250		
		40	63	100	125	40	63	100	125	100	160	100	160	250
Btdin 60	6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10	T	T	T	T	T	T	T	T	9	T	T	T	T
	18	9	9	T	T	9	9	T	T	5	T	9	T	T
	20	6	6	T	T	6	6	17	17	4	15	5	T	T
	25	5	5	10	10	5	5	10	10	3	8	4,5	T	T
	32		4	8	8		4	8	8	3	6	4	14	T
	40		3,5	6	6		3,5	6	6	2	5	3,5	9,5	T
	50			5	5			5	5		4,5	3	7	T
	63			4,5	4,5			4,5	4,5		4	3	6	T
Btdin 100	6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10	T	T	T	T	T	T	T	T	9	T	25	T	T
	18	9	9	T	T	9	9	T	T	5	T	9	T	T
	20	6	6	T	T	6	6	17	17	4	15	5	T	T
	25	5	5	10	10	5	5	10	10	3	8	4,5	20	T
	32		4	7	7		4	7	7	3	6	4	14	T
	40		3,5	5,5	5,5		3,5	5,5	5,5	2	5	3,5	9,5	T
	50			5	5			5	5		4,5	3	7	T
	63			4,5	4,5			4,5	4,5		4	3	6	T
Btdin 250	6					T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10					T	T	T	T	9	T	25	T	T
	18					9	9	T	T	5	T(1)	9	T	T
	20					6	6	17	17	4	15	5	T	T
	25					5	5	10	10	3	8	4,5	20	T
	32						4	7	7	3	6	4	14	T
	40						3,5	5,5	5,5	2	5	3,5	9,5	T
	50							5	5		4,5	3	7	T
	63							4,5	4,5		4	3	6	T

(1) selectividad total solo ME160B/N, 36 kA con ME160H

Fuente : Guia para selección de interruptores Bticino

MA/MH/ML400			MA/MH/ML400-630E				MA/MH/ML630-800-1250				MA/MH630_1600ES				
250	320	400	160	250	400	630	500	630	800	1000	1250	630	800	1250	1600
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	F	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	F	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	F	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	F	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

(i) selectividad total: solo ME160B/N, 35 kA con ME160H

Selectividad: Megatiker corrientes arriba y Btdin corrientes abajo (sistema trifásico)

440V~ Trifásico

		MA125				ME125B/N				ME160B/N/H		MA/MH/ML250		
		40	63	100	125	40	63	100	125	100	160	100	160	250
Btdin 60	6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10	T	T	T	T	T	T	T	T	9	T	T	T	T
	16	9	9	T	T	9	9	T	T	5	T	9	T	T
	20	6	6	T	T	6	6	17	17	4	15	5	T	T
	25	5	5	10	10	5	5	10	10	3	8	4,5	T	T
	32		4	8	8		4	8	8	3	6	4	14	T
	40		3,5	6	6		3,5	6	6	2	5	3,5	9,5	T
	50			5	5			5	5		4,5	3	7	T
	63			4,5	4,5			4,5	4,5		4	3	6	T
Btdin 100	6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10	T	T	T	T	T	T	T	T	9	T	25	T	T
	16	9	9	T	T	9	9	T	T	5	T	9	T	T
	20	6	6	T	T	6	6	17	17	4	15	5	T	T
	25	5	5	10	10	5	5	10	10	3	8	4,5	20	T
	32		4	7	7		4	7	7	3	6	4	14	T
	40		3,5	5,5	5,5		3,5	5,5	5,5	2	5	3,5	9,5	T
	50			5	5			5	5		4,5	3	7	T
	63			4,5	4,5			4,5	4,5		4	3	6	T
Btdin 250	6					T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10					T	T	T	T	9	T	25	T	T
	16					9	9	T	T	5	T(1)	9	T	T
	20					6	6	17	17	4	15	5	T	T
	25					5	5	10	10	3	8	4,5	20	T
	32						4	7	7	3	6	4	14	T
	40						3,5	5,5	5,5	2	5	3,5	9,5	T
	50							5	5		4,5	3	7	T
	63							4,5	4,5		4	3	6	T

Fuente : Guia para selección de interruptores Bticino

Fuente : Guia para selección de interruptores Bticino

Selectividad: Megatiker corrientes arriba y abajo (sistema trifásico)

220V~ Trifásico

		MA125				ME125B/N				ME160B/N/H			MA/MH/ML250		
		40	63	100	125	40	63	100	125	63	100	160	100	160	250
MA125	16	0,8	1	1,2	1,2	0,8	1	1,2	1,2	0,8	1	2,5	1	2,5	3,5
	25	0,8	1	1,2	1,2	0,8	1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	40		1	1,2	1,2		1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	63			1,2	1,2			1,2	1,2			2,5		2,5	3,5
	100											2,5		2,5	3,5
	125											2,5		2,5	3,5
ME125B/N	16	0,8	1	1,2	1,2	0,8	1	1,2	1,2	0,8	1	2,5	1	2,5	3,5
	25	0,8	1	1,2	1,2	0,8	1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	40		1	1,2	1,2		1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	63			1,2	1,2			1,2	1,2			2,5		2,5	3,5
	100											2,5		2,5	3,5
	125											2,5		2,5	3,5
ME160B/N/H	25									0,8	1	1,5	1	1,6	2,5
	40									0,8	1	1,5	1	1,6	2,5
	63										1	1,5	1	1,6	2,5
	100											1,5		1,6	2,5
	160													1,6	2,5
MA250	100													1,6	2,5
	160														2,5
	250														
MH/ML250	100													1,6	2,5
	160														2,5
	250														
MA/MH/ML400	250														
	320														
	400														
MA/MH 400-630E	160														
	250														
	400														
	630														
MA/MH/ML 630-800-1250	600														
	800														
	800														
	1000														
	1250														
MA/MH 630-1600ES	800														
	800														
	1250														
	1600														

Fuente : Guía para selección de interruptores bitricio

Selectividad: Megatiker corrientes arriba y abajo (sistema trifásico)

440/480V~ Trifásico

		MA125				ME125B/N				ME160B/N/H			MA/MH/ML250		
		40	63	100	125	40	63	100	125	63	100	160	100	160	250
MA125	16	0,9	1	1,2	1,2	0,6	1	1,2	1,2	0,6	1	2,5	1	2,5	3,5
	25	0,9	1	1,2	1,2	0,6	1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	40		1	1,2	1,2		1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	63			1,2	1,2			1,2	1,2			2,5		2,5	3,5
	100											2,5		2,5	3,5
	125											2,5		2,5	3,5
ME125B/N	16	0,8	1	1,2	1,2	0,6	1	1,2	1,2	0,6	1	2,5	1	2,5	3,5
	25	0,8	1	1,2	1,2	0,6	1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	40		1	1,2	1,2		1	1,2	1,2		1	2,5	1	2,5	3,5
	63			1,2	1,2			1,2	1,2			2,5		2,5	3,5
	100											2,5		2,5	3,5
	125											2,5		2,5	3,5
ME160B/N/H	25									0,6	1	1,6	1	1,6	2,5
	40									0,6	1	1,6	1	1,6	2,5
	63										1	1,6	1	1,6	2,5
	100											1,6		1,6	2,5
	160														2,5
MA/MH/ML250	100													1,6	2,5
	160														2,5
	250														
MA400	250														
	320														
	400														
MH/ML400	250														
	320														
	400														
MA/MH/ML 400-630E	160														
	250														
	400														
MA/MH/ML 630-900-1250	630														
	800														
	900														
	1000														
	1250														
MA/MH 630-1600ES	630														
	800														
	1250														
	1600														

I BENTON & BOWLES PARA CONSULTAS DE PRODUCTOS DE MEGATIKER

MA/MH/ML400			MA/MH/ML400+630E				MA/MH/ML630-800-1250					MA/MH630,1600ES			
250	320	400	160	250	400	630	500	630	800	1000	1250	830	800	1250	1600
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	T	T	T	T	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	T	T	T	T	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	T	T	T	T	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	T	T	T	T	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	T	T	T	T	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	T	T	T	T	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	16	16	16	16	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	16	16	16	16	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	16	16	16	16	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	16	16	16	16	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	16	16	16	16	T	T	T	T
3,5	4,5	6	8	8	8	8	10	16	16	16	16	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
2,5	3,2	4	8	8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
	3,2	4		8	8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
	4				8	8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
						8	5	12	12	12	12	T	T	T	T
							5	12	12	12	12	T	T	T	T
	3,2	4		8	8	8	5	12	12	12	12	35	35	55	35
		4			8	8	5	12	12	12	12	35	35	55	35
						8	5	12	12	12	12	35	35	55	35
							5	8	8	8	8	35	35	55	35
								8	8	8	8	35	35	55	35
									8	8	8	35	35	55	35
											25	35	55	35	
							5	6,3	6	6	7,5	25	25	25	25
									6	6	7,5		25	25	25
										6	7,5		25	25	25
											7,5		25	25	25
														25	25
															25
															25
															25
															25

Fuente : Guia para seleccion de interruptores Bticino

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Manual Distribución y Potencia hasta 4000 A Legrand SNC Francia
- 2.- Guía para Selección de Interruptores Bticino SPA Italia
- 3.- Cálculos de corriente de cortocircuito Schneider Electric
- 4.- www.dialelg.com
- 5.- ib.cnea.gov.ar/nmayer/lineas
- 6.- Guía técnica de la protección Legrand Chile