

Objetivos de las protecciones

Mantener todo el tiempo la continuidad en el servicio

Evitar suspensiones de la producción (costo)

Minimizar los tiempos de desconexión

Dispositivos de protección

Fusibles. operados termicamente, operación lenta en valores bajos de I_{cc} , trabajan entre si con valores de tiempos; $t_{m\acute{a}x.}$ despeje $A/t_{m\acute{i}n.}$ fundición $B \leq 0.75$

Interruptores de alta y baja tensión. Disponen de curvas características con tiempos instantáneos y de retardo cortos y largos

Relés de protección (sobrecorriente y diferencial).-dispositivos digitales que dan ordenes de disparo.

COORDINACION DE PROTECCIONES

☐ Características de los equipos principales y auxiliares del sistema a través del diagrama unifilar de la instalación.

☐ Potencias de los equipos, impedancias de cortocircuito de los equipos y de la red de alimentación, calibres de conductores, voltajes de alimentación.ias

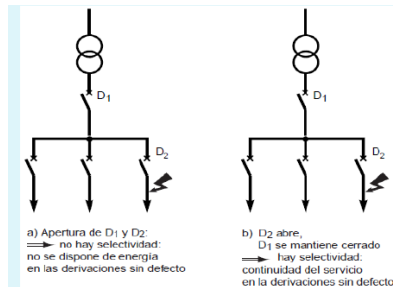
☐ Corrientes de cortocircuito máximas y mínimas

☐ Curvas características de Tiempo-corriente de los dispositivos de protección.

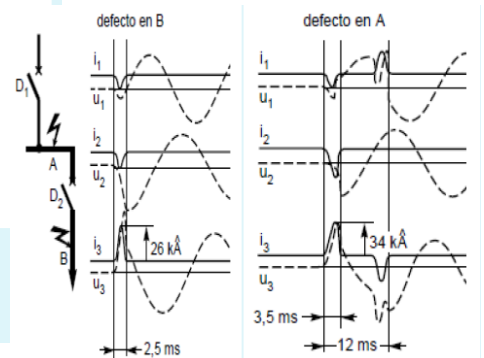
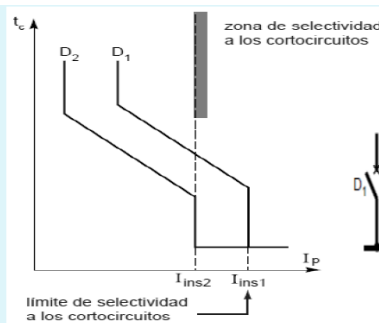
☐ Realizar la coordinación desde la carga hacia la fuente

☐ Interpolación de curvas de dispositivos de protección para conseguir la selectividad requerida.

SELECTIVIDAD EN PROTECCIONES



La zona de selectividad es más importante cuanto mayor es la separación entre los umbrales de los relés instantáneos de D1 y D2 y que el punto del defecto está alejado de D2 ($I_{cc} \text{ débil} < i_{ins} \text{ de D1}$). La relación mínima entre $i_{m\acute{a}x.}$ es de 1.5 teniendo en cuenta la precisión de los valores de umbral.



SELECTIVIDAD EN PROTECCIONES

Un defecto producido en B será percibido por los dos interruptores automáticos equipados D2 con un relé instantáneo que se abre a partir del instante que la corriente de defecto es superior a su umbral de disparo y elimina el defecto en menos de un semiperiodo y D1 ve solamente una semionda de corriente y no desconecta, pero la corriente de defecto provoca la repulsión de los contactos con lo que limita la corriente y las solicitaciones correspondientes, esta limitación de la corriente de defecto permite el empleo, aguas abajo, de interruptores automáticos con poder de ruptura inferior a la corriente de defecto presunta.

COORDINACION CON FUSIBLES

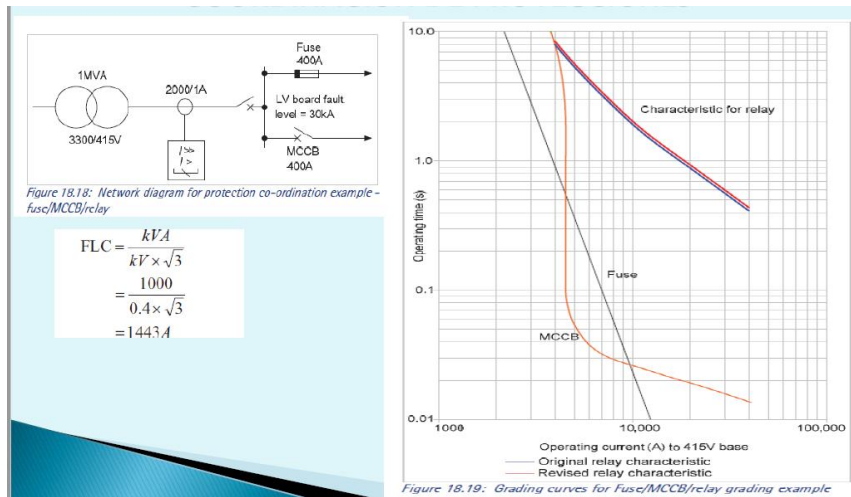
☐ **Curvas de tiempo mínimo y máximo de fusión.**

☐ La coordinación de dos fusibles (uno de lado fuente y otro de lado de carga) se lleva a cabo comparando las curvas respectivas. Para una falla delante del fusible (1) del lado carga hay que asegurar que este funda primero que el fusible (2) del lado de la fuente.

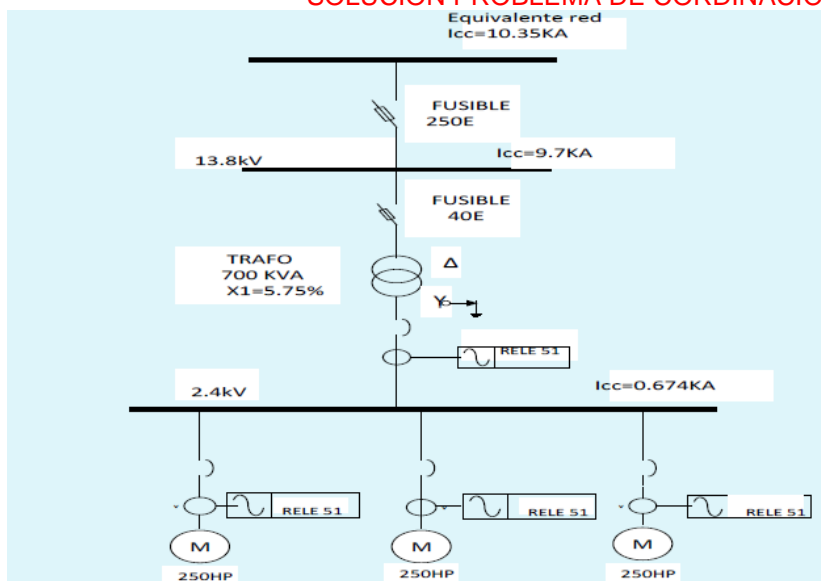
Para ello, es práctica común tomar las condiciones más desfavorables; es decir, tomar la curva de mínimo tiempo de fusión para (2) y la de tiempo total de despeje para (1) (ver fig).

Para todas las corrientes de falla la curva de (2) debe quedar por arriba de la de (1). Un criterio ampliamente utilizado establece que el tiempo total de despeje del principal no debe exceder el 75% del tiempo mínimo del fusible back-up. Este factor compensa esos efectos tales como corriente de carga, temperatura ambiente, o fatiga del elemento fusible, causada por el efecto de calentamiento de corrientes de falla que han pasado por el fusible pero no han sido lo suficientemente elevadas para fundirlo.

COORDINACION DE PROTECCIONES



SOLUCION PROBLEMA DE COORDINACIÓN



Utilizando la curva C9 se tienen las siguientes coordinaciones:

1.- Para una falla en la barra de 2.4kV la IF=0.674kA.
Protección principal relé 51 y de respaldo fusible de 40E
Trelé= 0.049seg.; tfusible= 0.091seg.
% de coordinación (0.049/0.091)x100= 53.84%, si coordina

2.- Coordinación fusibles 40E y 250E para falla de 9.7kA
Tfusible 40E=0.01seg; tfusible 250E=0.022seg.
%coordinación= (0.01/0.022)x100= 45.45%; si coordina

ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.

Flexibilidad Operacional
Niveles de Confiabilidad
Niveles de sobrecarga
Regulación de Voltaje
Caso Base (Máxima carga)
Caso Base (Mínima carga)
Caso Optimizado (contingencia 1)
Caso Optimizado (contingencia 2)

ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.
Los estudios determinaran las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.
Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.

Alcance de los estudios de Corto Circuito

Considerando un sistema típicamente aterrizado el estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

Falla Trifásica a tierra

Falla de línea a tierra.

COORDINACION DE LAS PROTECCIONES.

Los estudios de flujo de carga y Corto Circuito son la base para el ajuste y coordinación de las Protecciones del Sistema. Los estudios consideran los siguientes objetivos:

Determinar los equipos a usar con el fin de dar una protección óptima.

Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.

La aplicación del Estudio permitirá el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema.

•El diseño del relé ofrece protección en el lado de media tensión a 2 devanados. Característica que fue usada para dar protección a las 2 alimentadoras que existen en "Calizashuayco S.A", ofreciendo con esto selectividad ante eventuales fallas.

•La transferencia automática que se realiza con el relé ofrece una continuidad en la producción de la planta.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

El cálculo de las corrientes de corto circuito es fundamental para la definición de los sistemas de protección de un sistema eléctrico, para la obtención de los valores se deben considerar las impedancias desde el punto de falla a la fuente generadora.

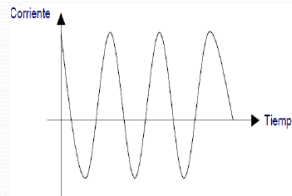
Un corto circuito puede provocarse por la pérdida de aislación de algún elemento energizado, causando daños en la instalación por lo que deben actuar los elementos de protección.

Los valores pico de estas corrientes están comprendidos entre 10 a 100 veces la corriente nominal.

Las corrientes de corto circuito también generan perturbaciones de orden mecánico, afectando principalmente en las barras, equipos de maniobra y conductores, ocasionando rupturas de los apoyos y deformación en la estructura de los tableros.

FORMAS DE ONDA DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Corriente Simétrica de Corto Circuito.- Es aquella en que su componente senoidal es simétrica en relación al eje de la corriente. Esta forma de onda es característica de las corrientes de corto circuito permanente, se utiliza para determinar la capacidad de los equipos para soportar los efectos térmicos.



Corriente Asimétrica de Corto Circuito

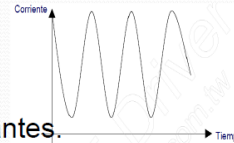
La componente senoidal se forma de manera asimétrica con respecto al eje de la corriente, puede asumir las siguientes características:

a) Parcialmente Asimétrica



b) Totalmente Asimétrica

En este caso en los primeros instantes de la falla la corriente de corto circuito asume la forma asimétrica para enseguida adquirir la forma simétrica debido a los efectos atenuantes.



Ubicación de las corrientes de corto circuito

a) Corto Circuito en Terminales del Generador

Para el efecto es necesario conocer el comportamiento de los generadores en cuanto a sus reactancias limitadoras.

Reactancia Subtransitoria.- Es la reactancia de dispersión del estator y del rotor del generador que limita la corriente de corto circuito (I_{cto}) en el instante inicial, cuando $T=0$, su efecto se prolonga durante los primeros ciclos. Tiene un valor de 24% en la base de la potencia nominal en los generadores hidráulicos y de 15% para turbo generadores.

Reactancia Transitoria

Es la reactancia de dispersión del estator y del rotor del generador que limita la corriente de corto circuito y tiene una duración aproximada de 1.5(s).

Reactancia Sincrona

Comprende la reactancia de los arrollamientos del generador, limita la corriente de corto circuito después que cesa los efectos de la reactancia transitoria, iniciándose ahí la parte permanente de un ciclo completo de la corriente de falla.

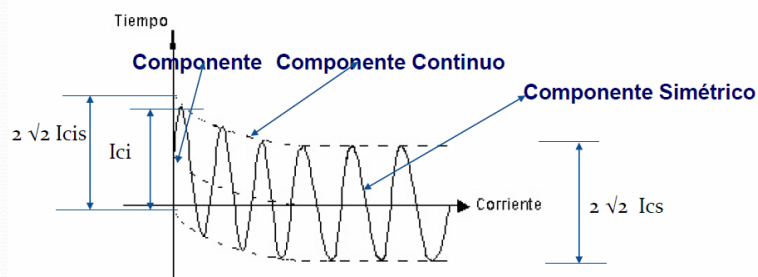
b) Corto Circuito Alejado de los Terminales del Generador

En redes eléctricas alimentadas por fuentes distantes, la corriente alterna de corto circuito permanece constante a lo largo de todo el periodo. La I_{cc} asimétrica presenta 2 componentes:

Componente alterna simétrica y Componente continua

Además en un corto circuito se puede observar los siguientes componentes:

Corriente alterna de corto circuito simétrico, Corriente eficaz inicial de corto circuito (I_{ci}), Corriente eficaz de corto circuito simétrico permanente (I_{cs}), Impulso de la corriente de corto circuito (I_{cim}), Potencia de corto circuito.



CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Corrientes de cortocircuito mínimas

Corrientes que corresponden a un cortocircuito en el extremo del circuito protegido, considerando los tipos de configuración de la red y de cortocircuito de menor aporte. Los cortocircuitos de menor aporte son F-N (circuitos con neutro) o entre dos fases (circuitos sin neutro).

Estas corrientes se utilizan para determinar:

El ajuste de los dispositivos de protección para los conductores.

Elegir los dispositivos de protección contra los contactos eléctricos indirectos, y

Para diseñar los conductores de las puestas a tierra.

Corrientes de cortocircuito máximas

Corrientes que corresponden a un cortocircuito en los bornes de salida del dispositivo de protección, de acuerdo a los tipos de configuración de la red y cortocircuito de mayor aporte. En instalaciones industriales), el de mayor aporte es el cortocircuito trifásico.

Las corrientes de corto circuito sirven para determinar: El Poder de Corte y de Cierre de los interruptores, Los esfuerzos térmicos y electrodinámicos en los componentes.

TIPOS DE CORTO CIRCUITO

CORTO CIRCUITO TRIFÁSICO

Ocurre cuando las tensiones en las 3 fases se unen en un punto de falla

Debido a que los valores son muy grandes las I_{cc} trifásico son de fundamental importancia toda vez que estos valores sirven para:

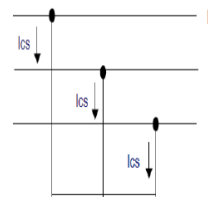
Ajuste de dispositivos de protección contra sobre corrientes.

Capacidad de interrupción de los disyuntores.

Capacidad térmica de los conductores y equipos

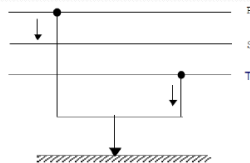
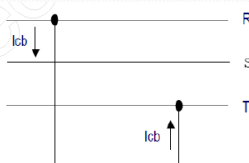
Capacidad dinámica de los equipos

Capacidad dinámica de las barras.



CORTO CIRCUITO BIFÁSICO

Se puede dar por el contacto entre 2 conductores de fases diferentes o por el contacto directo entre los ya citados conductores y el elemento tierra.



CORTO CIRCUITO FASE-TIERRA

Se puede dar por el contacto de una fase a tierra o también contacto simultaneo entre 2 conductores de fase a tierra.

Estas I_{cc} monopolaes se utilizan para:

Ajustar los valores mínimos de los dispositivos de protección contra sobre corriente.

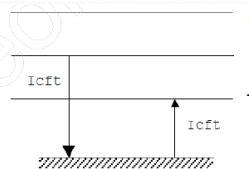
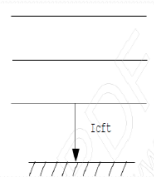
Sección mínima de los conductores de una malla de tierra.

Las I_{cc} monopolaes generalmente son mayores que las I_{cc} trifásico, a los terminales del transformador en condiciones de falla máxima.

Si las impedancias del sistema son pequeñas los valores de las I_{cc} son elevados dañando térmica y mecánicamente a los equipos por lo que se puede optar soluciones para reducir los valores de esas corrientes entre ellas están: Dimensionar los transformadores con una impedancia porcentual elevada.

Dividir la carga de la instalación en circuitos parciales alimentados por varios transformadores.

Insertar una reactancia en serie en el circuito principal o en el neutro del trafo cuando se trata de corrientes monopolaes elevadas.



FUENTES DE CORTO CIRCUITO

Las fuentes que aportan al cortocircuito son elementos activos y pasivos; Entre los elementos activos están: Red de la distribuidora, Máquinas eléctricas síncronas (generadores) y Máquinas eléctricas asíncronas (motores).

Los elementos pasivos son: transformadores y cables

La I_{cc} tiene una característica común, alcanza su valor pico en un tiempo de ≈ 16.7 mseg ($1/2$ ciclo en 60 Hz).

El aporte al cortocircuito de los motores de baja tensión es durante los primeros 2 o 3 ciclos (33 a 50 mseg).

Los interruptores automáticos operan entre 60 y 200 ms

La máxima I_{cc} en bajo voltaje para diseño es: $I_{asy}=1.6\sqrt{2}I_f$.

Para el cálculo de las corrientes de corto circuito se debe representar los principales elementos del circuito a través de sus impedancias. Es importante mencionar que si la tensión del sistema es de bajo valor es necesario considerar un número mayor de impedancia, dada la influencia que ejerce en el valor final de la corriente.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE I_{cc}

Para el cálculo de las I_{cc} se requiere disponer de los diagramas unifilares y de impedancias de la instalación, incluyendo especialmente: generadores, motores, transformadores, cables, ciertas cargas y el equivalente del sistema de alimentación a la industria que puede ser transmisión o distribución.

Valores en PU

Para simplificar los cálculos de las I_{cc} , se emplea la metodología de valores por unidad y se escoge como valores base una potencia en KVA y un voltaje expresado en KV, manteniendo estas referencias para todos los cálculos. El sistema en PU, relaciona unidades reales y base, de parámetros eléctricos, facilitando los cálculos de cortocircuitos con impedancias de circuitos activos y pasivos.

Las ventajas del sistema en PU consideran: las Z de máquinas rotativas y transformadores son del mismo orden, no depende de las relaciones de transformación y el tipo de conexión de los transformadores, se disminuye la cantidad de cálculos y los fabricantes de los equipos especifican sus Z en PU.

La expresión en por PU es:

$$V_{pu}=V_{real}/V_{base};$$

$$e_{jm}: I_{pu}=I_{real}/I_{base};$$

$$Z_{pu}=Z_{real}/Z_{base}$$

SISTEMAS EN PU

Los Valores Base se escogen al azar pero deben mantenerse durante todo los cálculos y en todo el sistema.

Potencia Base: $KVA_b = \sqrt{3} kV_b I_b$

Corriente Base: $I_b = KVA_b / \sqrt{3} kV$

Impedancia Base: $kV_b / I_b = kV / KVA_b / \sqrt{3} kV = (kV)^2 / MVA$

Impedancia $Z_{pu} = Z_r / Z_b = Z_{\Omega} / (kV)^2 / MVA = Z_{\Omega} \times MVA / (kV)^2$

Para cambiar a una sola base varios parámetros que se encuentran a diferentes voltajes y potencias tenemos:

$Z_{1pu} = Z_{\Omega} \times MVA_b / (kV_b)^2$; muy utilizado para cables y conductores

Cuando la impedancia en por unidad de ciertas máquinas rotativas y transformadores están expresadas en diferentes bases se puede cambiar a una sola base a través de:

$Z_{2pu} = Z_{1pu} (MVA_b / MVA_1) \times (kV_b / kV_1)^2$

Z_{1pu} = impedancia de la placa; S_{base1} = potencia nominal del equipo

V_{base1} = Voltaje nominal del equipo; S_{base2} = Potencia base del sistema;

V_{base2} = Voltaje base del sistema.

CÁLCULOS DE CORTO CIRCUITO

Cortocircuito trifásico

$$\bar{I}_{k_3}'' = \frac{\bar{U}_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

I = Corriente inicial simétrica de cortocircuito trifásico.

Z_k = Impedancia equivalente del circuito de falla.

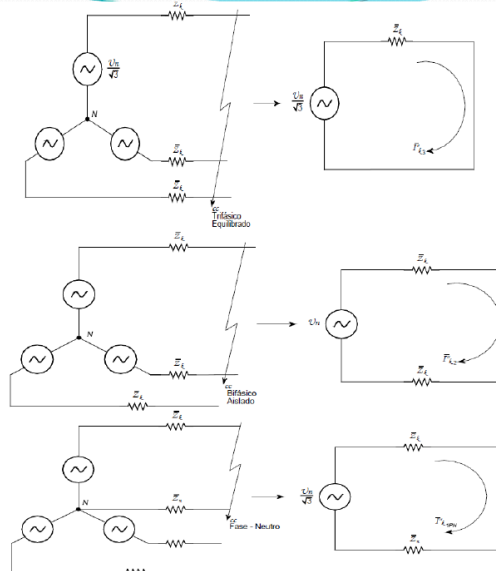
Cortocircuito bifásico

$$\bar{I}_{k_2}'' = \frac{\bar{U}_n}{2 \cdot Z_k} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \bar{I}_{k_3}''$$

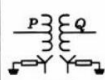
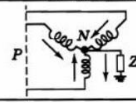
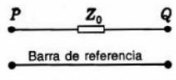
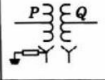
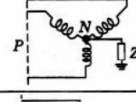
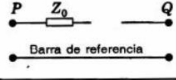
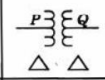
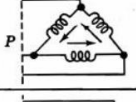

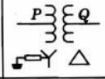
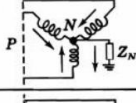

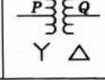
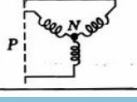
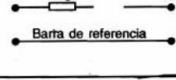
Cortocircuito monofásico entre una fase y neutro

$$\bar{I}_{k_{1\phi}}'' = \frac{\bar{U}_n}{\sqrt{3} (Z_k + Z_{PE})}$$

Z_{PE} = Impedancia equivalente del retorno por tierra.



Secuencia 0 en transformadores

CASO	SÍMBOLOS	DIAGRAMAS DE CONEXIÓN	CIRCUITOS EQUIV. DE SECUENCIA CERO
1			
2			
3			
4			
5			

Redes de secuencia 0

