



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELÉCTRICA**

***“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION PARA UN
NODO B EN TECNOLOGIA UMTS”***

Autor: Ernesto Antonio Osejo López

Carnet: 2007-15074

Tutor: Msc. Ing. Cedrick Dalla Torre

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2013

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPITULO I : TECNOLOGÍA 3G PARA TELEFONIA CELULAR	3
CAPITULO II: PROTECCIONES ELÉCTRICAS	13
CAPITULO III : SISTEMA DE PROTECCIÓN PUESTA TIERRA	46
CAPITULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA	52
CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58

INTRODUCCIÓN

Este trabajo está dirigido al diseño de un sistema de protección para estaciones bases 3G (Nodo B), ya que es muy importante la implementación de propuestas que satisfagan la seguridad de los equipo de Radio Frecuencia y de Transmisión.

Por la importancia de los sistemas de puesta a tierra, es necesario conocer la mayor cantidad de factores que hacen variar la resistencia del sistema. Algunos de estos factores pueden ser: las condiciones climatológicas, compactación del terreno, características físicas del electrodo de conexión a tierra, etc.

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen nuestros equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa. El problema en los sistemas tradicionales es que se instalan varillas de cobre que por características físicas son conductores de corriente bidireccionales.

Es muy importante contar con instrumentos de alta precisión para poder entender cuál es el comportamiento de la tierra. Pero en este trabajo hacemos mención de los elementos y la importancia de un sistema de puesta a tierra adecuada.

Se realizará una investigación acerca de la tecnología 3G en las telecomunicaciones celulares, que permita conocer el funcionamiento y capacidades que tiene el equipo que conforma los Nodo B. También se desarrollará un marco teórico de referencia de las protecciones de Redes Eléctricas.

Se diseñará un sistema de protección eléctrica para el Nodo B a partir de mediciones en el campo, que permita determinar la topología y dimensiones del mismo. También se propondrá un estudio económico para conocer la inversión que se requiere para la implementación de este sistema de protección.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Diseñar un sistema de protección eléctrica para un Nodo B que permita proteger el equipamiento de radio frecuencia y transmisión en la estación base.

Objetivos Específicos:

1. Realizar un estudio acerca de la tecnología 3G en telefonía celular para conocer las características y capacidades de los equipos que conforman el Nodo B.
2. Desarrollar un marco teórico respecto a los sistemas de protecciones eléctricas que permita conocer las relaciones, ecuaciones y algoritmos para diseño el diseño de estos sistemas.
3. Realizar un estudio técnico que permita conocer la topología y dimensiones del sistema a diseñar.
4. Proponer un diseño de un sistema de protección eléctrica para un Nodo B que permita conocer la topología y dimensiones de dicho sistema.
5. Desarrollar un estudio económico que permita conocer la factibilidad que tienen la implementación del sistema de protección eléctrica para Nodo B.

CAPITULO I: TECNOLOGÍA 3G PARA TELEFONIA CELULAR (UMTS)

El número de usuarios del servicio telefónico crece sin cesar, y si bien en los países más desarrollados el número medio de teléfonos supera los 50 por cada 100 habitantes, en los menos no llega al 5% y más de la mitad de la población mundial nunca ha realizado una llamada telefónica, según datos de la UIT. De una manera muy directa, el desarrollo económico de los países está muy ligado al de sus infraestructuras de comunicaciones, razón por lo que las inversiones en telecomunicaciones están siendo muy importantes en todo el mundo y así lo reconoce la industria y los grupos inversores que ven en ellas una vía de negocio en continua expansión y a largo plazo.

El área de las comunicaciones móviles, junto con Internet, es la de crecimiento más rápido dentro del sector de las telecomunicaciones, en línea con las expectativas que se tuvieron durante su concepción. En todo el mundo, a finales de 1998, se alcanzan ya casi los 300 millones de usuarios de telefonía móvil celular y la previsión es alcanzar los 1.000 millones al finalizar el año 2005, una cifra superior a la de líneas de telefonía fija que existen en la actualidad.

La explicación a este crecimiento del mercado se encuentra en el rápido avance de la tecnología, las oportunidades comerciales que se asocian con la movilidad personal, la bajada del precio de los terminales y de las tarifas de conexión y por tráfico. Este crecimiento tan espectacular y rápido lleva aparejado el desarrollo e implantación de diferentes tecnologías analógicas y digitales como TDMA, CDMA, ..., y estándares como AMPS, D-AMPS, NMT, TACS, GSM, DECT, PHS, etc. que muchas veces coexisten en el mismo país, lo que hace que resulte complicado, además de costoso, dotar de movilidad universal a los usuarios en sus desplazamientos.¹

¹ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

Es por ello que está en desarrollo dentro de la UIT una nueva solución, denominada IMT-2000, uno de cuyos estándares será el denominado UMTS, antes del año 2005, aunque algunas fases se pondrán en marcha mucho antes.

El Foro UMTS ha definido el sistema / servicio UMTS como sigue:

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) será un sistema de comunicaciones móviles que pueda ofrecer significativos beneficios a los usuarios, incluyendo una alta calidad y servicios inalámbricos multimedia sobre una red convergente con componentes fijos, celulares y por satélite. Suministrará información directamente a los usuarios y les proporcionará acceso a nuevos y novedosos servicios y aplicaciones. Ofrecerá comunicaciones personales multimedia al mercado de masas, con independencia de la localización geográfica y del terminal empleado (movilidad del terminal, personal y de servicios), esto es, la tercera generación de móviles.

No cabe duda de que la movilidad generalizada, asociada a una amplia oferta de servicios de voz y datos presenta una serie de beneficios para los usuarios, pero como contrapartida, también presenta algunos problemas ya que exige una tecnología más avanzada, interconexión entre todas las redes por las que el usuario se mueve y unos sistemas de señalización muy potentes para garantizar la rapidez en el establecimiento de la comunicación, la seguridad de la misma y permitir un importante flujo de datos al utilizarse aplicaciones multimedia que demandan un gran ancho de banda.

Así, surge UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), que se está diseñando, básicamente en Europa, como un miembro de la familia global IMT-2000 de la UIT que contempla la validez para todas las regiones del mundo y sistemas tanto terrestres como por satélite.²

² www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

La estandarización de UMTS está siendo llevada a cabo por el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación) en estrecha colaboración con otros organismos como es la TIA (Asociación de Industrias de Telecomunicación) en Estados Unidos y la ARIB (Asociación de las Empresas de Difusión de Radio) en Japón, que también colaboran en la definición de los estándares de IMT-2000.

A lo largo del año 2000, se introdujo progresivamente GPRS (General Packet Radio Service) en las redes GSM para incrementar el ancho de banda del usuario hasta los 115 kbit/s, algo tenían previsto los tres operadores actuales de nuestro mercado: Telefónica Móviles, Airtel y Amena. Con GPRS se factura por cantidad de información transferida en lugar de por tiempo de conexión, como sucedía en las redes GSM, se da un salto radical, pasando de conmutación de paquetes a conmutación de circuitos, con lo que el ancho de banda se aprovecha mejor. De esta manera podemos estar siempre conectados, "always on", y eliminar el tiempo de establecimiento de la comunicación, con lo que todo irá mucho más rápido.

Desde el punto de vista físico, UMTS comprende una nueva interfaz de aire y un nuevo componente radio. El objetivo es combinar ambos de forma modular con los nuevos elementos de red y con los elementos de las redes fijas y móviles pre-UMTS, en el supuesto de que estas hayan realizado los procedimientos previos necesarios para permitir la evolución. Esta filosofía permitirá que nuevas empresas establezcan redes UMTS y que los operadores actuales de 2G dispongan de un camino de transición suave -pasando por GPRS y EDGE- mediante la reutilización de parte de su infraestructura.³

³ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

Hay una serie de conceptos que marcan la diferencia entre los actuales sistemas de segunda generación, GSM, y el UMTS. Se recogen a continuación los más relevantes, que configuran en parte los requisitos de partida para el proceso de estandarización.

El VHE es un concepto de sistema que permite la portabilidad de servicios en el UMTS a través de las diferentes fronteras entre redes. Según este concepto, la red visitada emula para cada usuario particular las condiciones de su entorno de origen.

El concepto de VHE está propuesto como la base técnica para simplificar el manejo de los servicios por parte del usuario. Si se utilizan los terminales multimodo adecuados, los usuarios podrán conectarse a redes de segunda y de tercera generación de forma directa.

La utilización de terminales con interfaz aire programable, que cubra un amplio margen de variación en las redes IMT2000, facilitará la provisión de servicios cuando se esté en roaming, fuera del entorno local.

Hoy es ya evidente que los operadores de red futuros y los proveedores de servicio deberán ofrecer acceso a servicios de comunicación a través de redes fijas y móviles.

En el mundo de las tecnologías de la información, será necesario que los sistemas soporten la capacidad de transmitir información a altas velocidades, en forma simétrica o asimétrica, según sea la necesidad, procurando con ello una mejor utilización del espectro radioeléctrico.⁴

⁴ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

El equipo UMTS debe ser compatible con el de GSM ya que el cambio de una tecnología a otra ha de ser paulatino.

Se divide en tres partes:

- Los equipos de usuario
- El **UTRAN**
- La red principal (**Core Network**)

El UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y el Core Network (Red principal) son consideradas la espina dorsal de la tecnología UMTS.

Estos dos elementos están formados por todos los protocolos y modos físicos.

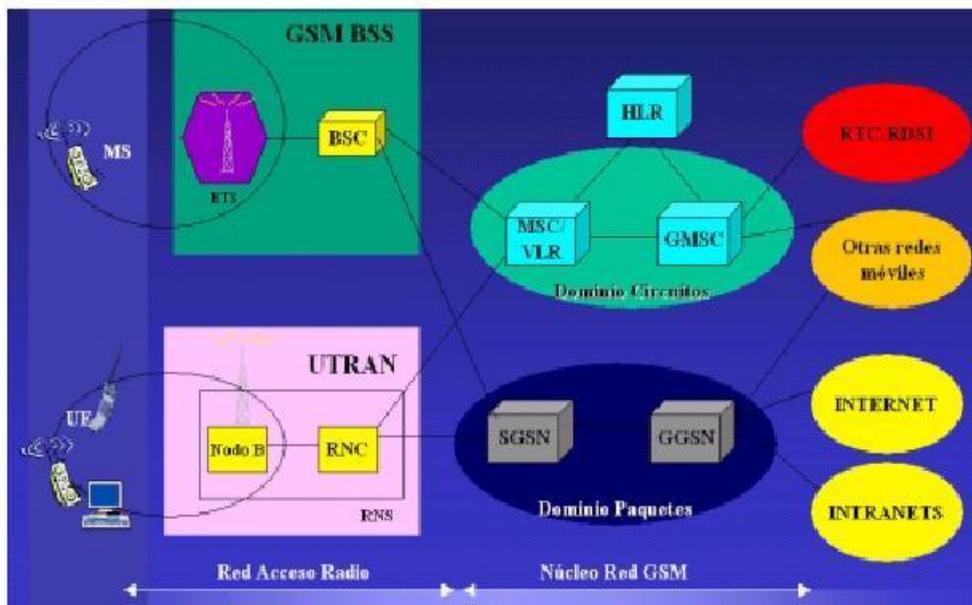


Gráfico1 : Cómo es la arquitectura UMTS⁵

⁵ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

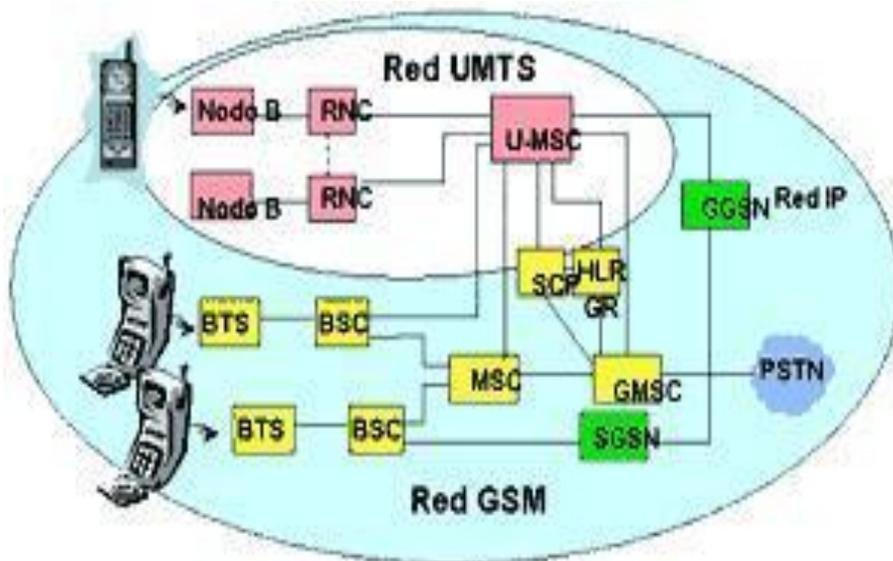


Gráfico 2: Nueva red de conmutación (Core Network), distinta de la existente en GSM, se compone de dos redes independientes, una para voz (conmutación de circuitos) y otra para datos (conmutación de paquetes).

El UTRAN consiste en un conjunto de Subsistemas de redes de radio (RNS) que son el modo de comunicación de la red UMTS.

Un RNS ofrece la localización y liberación de recursos de radio específicos para establecer modos de conexión. Un RNS es responsable de los recursos y de la transmisión / recepción en un conjunto de celdas. Un RNS está compuesto de un RNC, y uno o varios nodos B.

El sistema UTRAN ha sido desarrollado para alcanzar altas velocidades de transmisión. Nuevos tipos de transferencia de datos y algoritmos ayudan a alcanzar esta velocidad. El terminal está conectado a una Estación Base Transmisora (BTS) o lo que ahora llamaremos NODO B. El nodo B crea, mantiene, y envía un enlace de radio en cooperación con el terminal. Es decir, es el componente responsable de la transmisión y recepción radio entre el terminal y una o más celdas UMTS.⁶

⁶ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

Conecta vía W-CDMA Uu radio interface, con el UE , y con el RNC envía el Iub de forma asíncrona (ATM), el Nodo B es un punto terminal de la red ATM.

El Controlador de la red de radio (RNC) es responsable de todo el control de los recursos lógicos de una BTS.

Es el nodo Wireless Gateway (WG) quien se encarga de realizar la separación entre circuitos y paquetes. La 3G MSC realiza la conmutación de circuitos y los nodos SGSN (funcionalidad incluida en el WG) y GGSN se encargan de la conmutación de paquetes. El 3G HLR es el equipo que se encarga de gestionar una base de datos permanente que contiene los perfiles de suscripción de todos los abonados de la red de 3G.

PROTOCOLOS DE LA CAPA DE APLICACIÓN.

Están definidos para especificar la señalización y el control de UTRAN. Veamos el control ilustrado en la figura siguiente, usando control UTRAN y UE.⁷

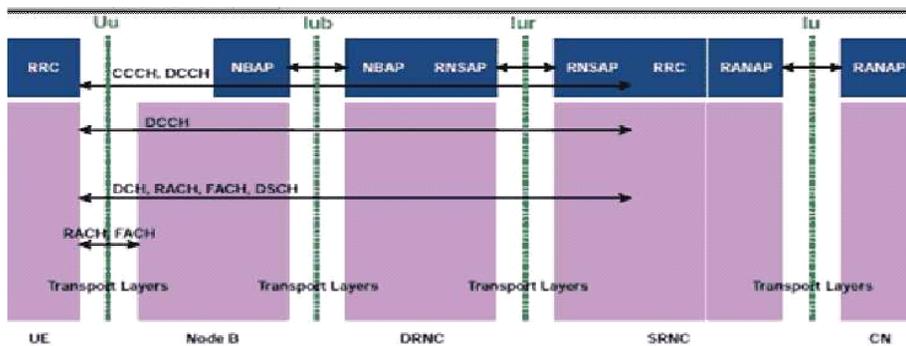


Gráfico 3: Protocolo para la arquitectura Iu RANAP

Iu: Radio Access Network Application Part (RANAP)

⁷ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

Este protocolo provee de una señalización específica y de control de UTRAN sobre **Iu**, un subconjunto de funciones de RANAP son las siguientes:

- **RAB**(Overall radio acces bearer) incluye su instalación y el mantenimiento.
- Manejo de las conexiones de Iu.
- **Transport of nonaccess stratum(NAS)**: información entre el UE y el CN, por ejemplo, NAS contiene el control de la movilidad su señalización y el control del broadcast de la información.
- Realiza el cambio de información de UE entre RNC y CN
- Pasa los reconocimientos desde CN hasta UE
- Maneja las situación de error y sobrecarga.

Iur: Radio Network Sublayer Application Part (RNSAP)

La señalización sobre UTRAN y su control sobre esta interface contiene las siguientes partes:

- Manejo de los enlaces de radio tanto físicos como los recursos de los canales de transporte.
- Paging
- Resituación SRNC
- Medición de los recursos ocupados.⁸

Iub: Nodo B Pare de Aplicación (NBAP)

⁸ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

Incluye las siguientes características:

- Manejo de los canales, recursos comunes y de los radio enlaces.
- Configuración como celdas
- Medición, manejo y control
- Sincronización (TDD)
- Trata situaciones de error

Uu: Radio Resource Control (RRC)

Esta capa maneja el control de las señales sobre Uu entre UE y UTRAN, alguna de las funciones ofrecidas son

- Broadcast de la información
- Manejo de las conexiones entre el UE y UTRAN que incluye su establecimiento mantenimiento y relaciones.
- Manejo de las radio “bearers” las cuales incluyen su establecimiento, mantenimiento, relaciones y la correspondiente conectividad.
- Control del ciphering
- Control de potencia (Outer loop)
- Protección de la integridad del mensaje
- Timing advance en el modo TDD
- Medición de UE para evaluaciones
- Paging y Notificaciones

Hay dos modos de operación definidos por UE el modo IDLE y el dedicado.⁹

⁹ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

En el modo IDLE, la entidad de UE's RCC es el Nodo B, mientras que en el modo dedicado es el SRNC. Protocolos de capas superiores conforman las tareas de control y señalización en la parte alta de RCC. EL (MM) mobility management y el control de las llamadas (CC) están definidos en las especificaciones de GSM.¹⁰

¹⁰ www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc

CAPITULO II: PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Todos los equipos componentes de un sistema eléctrico están sujetos a fallas que en general afectan el servicio y al mismo tiempo comprometen la integridad del equipo afectado e inclusive la de los equipos instalados entre el punto de la falla y el generador, los cuales no son responsables del defecto.

El sistema de protección tiene por objeto la detección, localización y desconexión en forma automática del equipo afectado a fin de minimizar los efectos que el funcionamiento prolongado en estado de falla tendría sobre la instalación. Para cumplir con estas funciones, el sistema de protección debe cumplir las siguientes condiciones fundamentales: selectividad – estabilidad – confiabilidad.

La selectividad es la cualidad de los sistemas de protección eléctrica por la cual su accionamiento debe sacar de servicio solo la porción de la red afectada por la falla o en su defecto, la menor porción posible.

La estabilidad es la que asegura que el sistema de protección no operará para fallas que se encuentran fuera del tramo o equipo al que se le ha asignado proteger (la protección permanece estable).

La confiabilidad es otro de los requisitos que debe poseer el sistema de protección mediante el cual se determina la seguridad de que cada dispositivo opera en todas las ocasiones en que sea necesario de manera de no afectar la selectividad del conjunto.

Considerando que la confiabilidad no es total, la misma se asegura mediante la protección de respaldo o reserva. Esta actúa solo en caso de falla por falta de la magnitud medida, falta de tensión continua de comando, falla en el relé propiamente dicho o bien en el circuito de comando del interruptor.¹¹

¹¹ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

Es conveniente que la protección de respaldo esté dispuesta de forma tal que la causa de la falla de la protección principal no afecta su funcionamiento, o sea que no empleen o controlen elementos comunes a la protección principal. En el caso de líneas de transmisión la protección de respaldo suele ubicarse en otra estación transformadora.

Para prevenir fallas en el relé o en el circuito de desconexión del interruptor, en líneas de gran importancia se usan sistemas de protecciones duplicadas la cual consiste en conectar dos sistemas de protección para una misma línea y actuando sobre el mismo interruptor pero sobre bobinas de aperturas independientes.

El sistema de protección debe permitir máxima flexibilidad y operabilidad, pudiéndose conformar todas las configuraciones operativas posibles sin necesidad de modificar la regulación de los relés.

1. Tipos de sistemas de protección.

En el estudio de los sistemas de protección más usuales surge una diferencia fundamental entre dos grupos definidos y diferenciados entre si. Dichos grupos se designan como:

- a) Protecciones no limitadas
- b) Protecciones limitadas o de zona

Las protecciones no limitadas son aquellas cuyo radio de acción se extiende a lo largo del sistema protegido sin límites perfectamente definidos prolongando su alcance hasta zonas adyacentes con protección propia actuando en ese caso como protección de reserva. En realidad el radio de acción queda de alguna manera definido, con la particularidad que el alcance puede modificarse a voluntad variando el ajuste respectivo.¹²

¹² U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Electricas/2923751.html>

Las protecciones de zona son aquellas cuyo radio de acción se encuentra perfectamente definido en forma física por el circuito mismo. El ajuste de las protecciones de zona es independiente del ajuste de las protecciones de tramos adyacentes, teniendo en cuenta únicamente necesidades impuestas por el propio equipo a proteger.

Dentro de ambos grupos se encuentran la generalidad de los equipos utilizados para protección de sistemas de AT y MT utilizados en nuestro país y en la generalidad de las redes y equipos.

Protecciones no limitadas.

Dentro de este grupo se encuentran las siguientes protecciones:

a) Protección de sobre corriente o sobre intensidad

Es de aplicación en instalaciones de BT y MT contra cortocircuitos fundamentalmente, siendo utilizada para la protección de generadores, transformadores, líneas, cables, motores, etc.

Es importante diferenciar cortocircuito de sobrecarga, dado que si bien ambos casos se manifiestan por una elevación de la corriente que circula por el equipo, los efectos que producen sobre los mismos son distintos debiendo actuar las protecciones en forma distinta según se trate de un caso u otro.

Los cortocircuitos se caracterizan por valores de corrientes múltiples de la I_n , grandes caídas de tensión y desfasaje importante entre la tensión y la corriente. Este tipo de falla debe ser eliminada en el menor tiempo posible debido a los perjuicios del tipo térmico fundamentalmente, que producen sobre los equipos.¹³

En cambio las sobrecargas se caracterizan por valores de corrientes fracciones de veces superior a la nominal de los equipos por los que circula, mientras que la

¹³ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

tensión y diferencia de fase entre la tensión y corriente no sufren variaciones de importancia. La capacidad de los equipos para admitir sobrecargas depende del tipo de equipo de que se trata y del estado de carga anterior al de la sobrecarga, ya que el efecto de esta última se limita a producir un calentamiento del equipo diseñado para disipar las pérdidas que se producen con corrientes inferiores o iguales a la nominal. La protección contra sobrecargas es fundamentalmente una protección contra sobre temperatura, debiendo ser la temperatura del equipo y no la corriente que por él circula la magnitud de medida de la protección.

En presencia de una sobrecarga habitualmente no es necesario sacar el equipo de servicio ya que hay tiempo suficiente antes que se afecte el mismo, posibilitando al personal de operación tomar medidas a efectos de normalizar las cargas.

La forma más elemental de protección contra sobre corriente es el fusible en sus diversos tipos; utilizándose donde los relés de protección y los interruptores no son justificables económicamente. Cuando se requiere mayor exactitud para la discriminación de la falla se utilizan relés de sobre corriente que pueden ser primarios o secundarios.

Los relés primarios son aquellos que se encuentran instalados en el circuito primario y operan con la corriente real del sistema, no requiriendo por ello TI, ni fuentes auxiliares para comando de interruptor. El principal inconveniente de estos relés es la imposibilidad de mantenimiento sin interrupción del servicio. Un esquema básico se muestra en la Figura 4.¹⁴

No poseen precisión a causa de la robustez que tienen para soportar los esfuerzos electrodinámicos de las corrientes de cortocircuito.

¹⁴ *U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica*
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

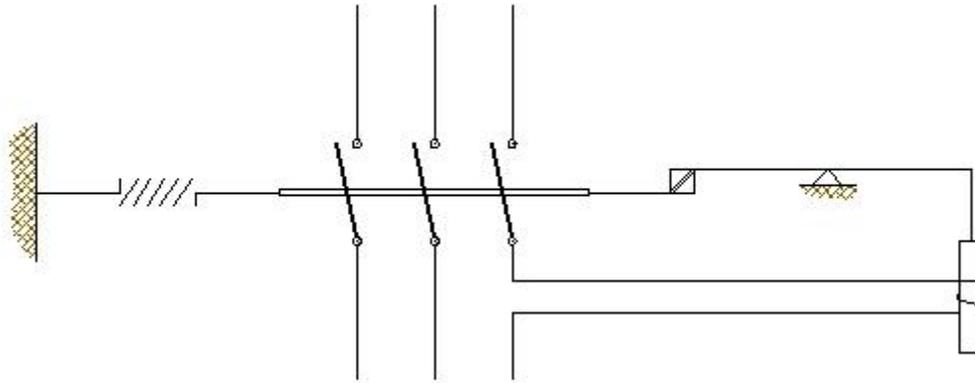


Figura 4

Se utilizan para redes de BT y MT en Centros de Distribución que alimentan líneas radiales. Pueden ser instantáneos o temporizados.

Los relés secundarios son aquellos accionados por las corrientes secundarias de los TI por cuyos primarios circulan las corrientes reales de carga y falla del sistema. Este tipo de relés se utilizan en sistemas de transmisión y distribución, prestando mayor sensibilidad, precisión y menor consumo que los anteriores.

Dentro de los relés secundarios existen tres tipos fundamentales según su principio de funcionamiento:

- Relés de atracción electromagnética: son instantáneos y funcionan en virtud de un elemento móvil de material ferromagnético que es atraído por un solenoide. Son aptos para CC o CA. Si bien se consideran instantáneos, responden a una característica de tiempo inverso.

Si es necesario pueden temporizarse mediante dispositivos adicionales de retardo.

- Relés de inducción: se basan en el principio Ferraris y funcionan debido a la interacción de dos flujos magnéticos de CA. Se utilizan normalmente para relés de tiempo inverso.
- Relés de bobina móvil: tienen gran similitud con los instrumentos de bobina móvil e imán permanente, siendo aptos para CC. Su uso se logra mediante puentes rectificadores, son polarizados.¹⁵

Las protecciones de sobre corriente se pueden clasificar en relés de tiempo independiente, es los cuales el tiempo de operación es fijo e independiente de la

¹⁵ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

corriente de cortocircuito y en relés de tiempo inverso, aquellos en los que el tiempo de operación disminuye con el aumento de la corriente de falla.

b) Protección de impedancia

En redes complejas y con corrientes de cortocircuitos variables, una mejor discriminación y coordinación con menores tiempos de operación puede lograrse mediante relés cuyo tiempo de desconexión depende de la distancia entre relé y punto de falla. Es decir, una vez ajustado convenientemente el relé, el tiempo de operación depende exclusivamente de la distancia al punto de falla e independientemente del valor de la corriente de cortocircuito. Esta protección se denomina protección de distancia o de impedancia.

En la Figura 2 se muestra la característica tiempo – distancia de un relé de este tipo.

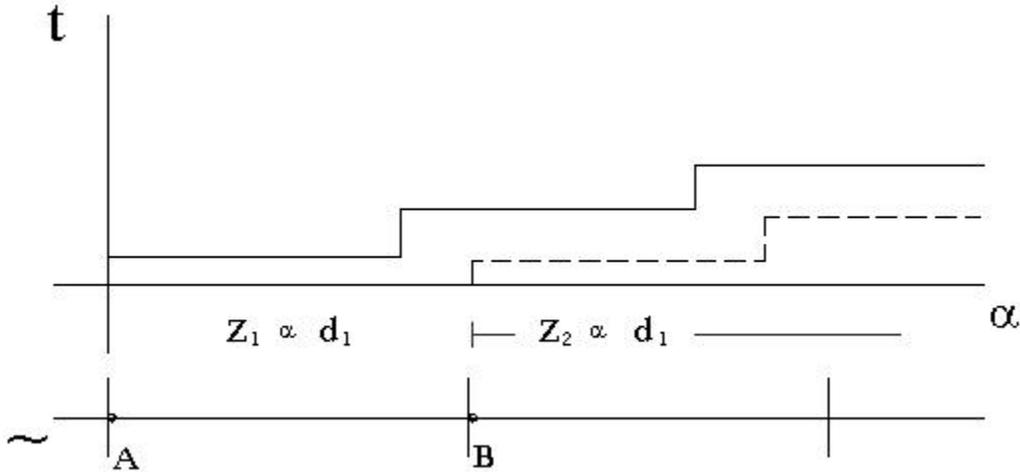


Figura 5¹⁶

Protecciones de zona.

¹⁶ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Electricas/2923751.html>

La aptitud de una protección de zona puede medirse mediante dos magnitudes a saber:

Corriente mínima de operación (CMO): es el porcentaje de la corriente nominal del equipo protegido que arranca el relé. Por ejemplo $10\% I_n$.

Relación de estabilidad (RE): es el cociente entre la corriente máxima que puede entrar y salir de la zona protegida sin provocar desenganches y la corriente nominal del equipo protegido.

Existen dos formas fundamentales de protecciones de zona, siendo ellos los sistemas de corriente circulante y los de tensión balanceada. Dichos sistemas se observan en la Figura 5.a y 5.b respectivamente.

En los sistemas de corriente circulante los TI se conectan en serie por lo que aparecida una falla interior a la zona protegida, la corriente $I_1 > I_2$ y por la rama central aparecerá una corriente diferencial

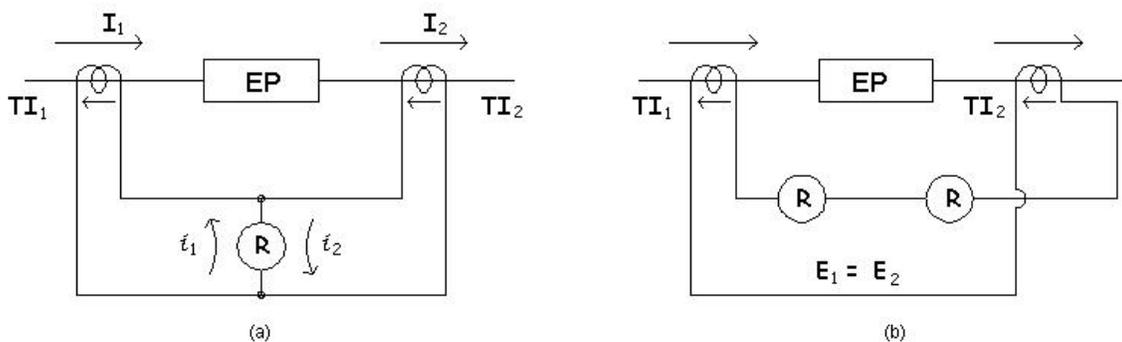


Figura 6

$i_{\Delta} = i_1 - i_2$ (Figura 6.a) que en caso de resultar superior al valor ajustado en el relé produce la actuación del mismo abriendo los interruptores a ambos lados del equipo. Este sistema se utiliza para protección de generadores, transformadores y reactores.¹⁷

¹⁷ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

Su aplicación como protección de cables no se utiliza, dado que es un gran inconveniente el valor de corriente que circula por los hilos pilotos el cual es proporcional a la corriente primaria y puede alcanzar en casos de falla exterior a la zona protegida valores elevados. Ello provoca grandes caídas de tensión y consecuentemente son necesarios TI de elevada prestación.

En los sistemas de tensión balanceada, los TI se conectan en oposición tal que en servicio normal las tensiones en los secundarios de los TI se oponen balanceándose de tal modo que la corriente por los hilos pilotos es nula (Figura 3.b). Si la falla es interna aparece un desequilibrio de tensiones dando origen a una corriente de operación que ordenará por intermedio del relé la apertura de los interruptores (Figura 7).

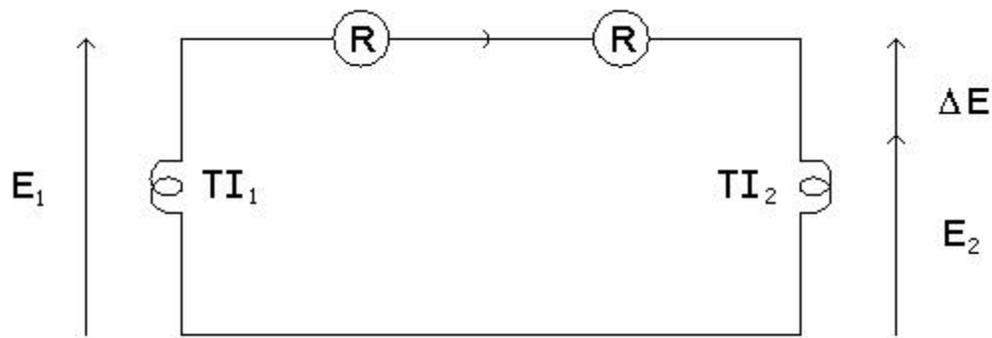


Figura 7

Un sistema como este, presenta el inconveniente que para cables muy largos durante fallas exteriores a la zona protegida la tensión de balanceo resulta aplicada entre los hilos pilotos, dando origen a corrientes capacitivas que pueden hacer operar uno o ambos relés.

2. Protección de líneas.

Las protecciones de redes deben permitir la máxima libertad de maniobras en la red, sin necesidad de modificar las regulaciones establecidas. Las protecciones deben intervenir para eliminar:¹⁸

- Cortocircuitos trifásicos con o sin puesta a tierra
- Cortocircuitos bifásicos con o sin puesta a tierra
- Cortocircuitos monofásicos
- Doble puesta a tierra (simultaneidad de puesta a tierra de dos fases diferentes en distintos lugares)

El principio a aplicar para la protección de redes contra cortocircuitos depende de la configuración de la red, del tiempo de desenganche máximo admisible y de la importancia económica de la línea. Los sistemas usados actualmente son los siguientes:

- 1) Protección con relés de máxima intensidad y relés direccionales.
- 2) Protección con relés de distancia o de impedancia
- 3) Protección con relés diferenciales

Protección de máxima intensidad (sistemas no limitados)

La protección de máxima intensidad basa la selectividad en la temporización y son por lo tanto usuales para los relés las características denominadas “tiempo – corriente”. Estas características determinan el tiempo que demoran en operar los relés a los cuales pertenecen, en función de la corriente que los alimenta.

Desde el punto de vista de la forma, los relés se clasifican de acuerdo a dichas características en:

- 1) Característica de tiempo independiente o tiempo definido
- 2) Característica de tiempo inverso

3.1.1. Protección de sobre corriente de tiempo definido

La protección de sobre corriente de tiempo definido es aquella en la cual el tiempo de operación es independiente del valor de la corriente de cortocircuito. Es decir que cualquiera sea la corriente de falla, siempre que ésta supere el valor de la

¹⁸ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

corriente de arranque I_a , la operación del relé se producirá en el tiempo ajustado (Figura 8).

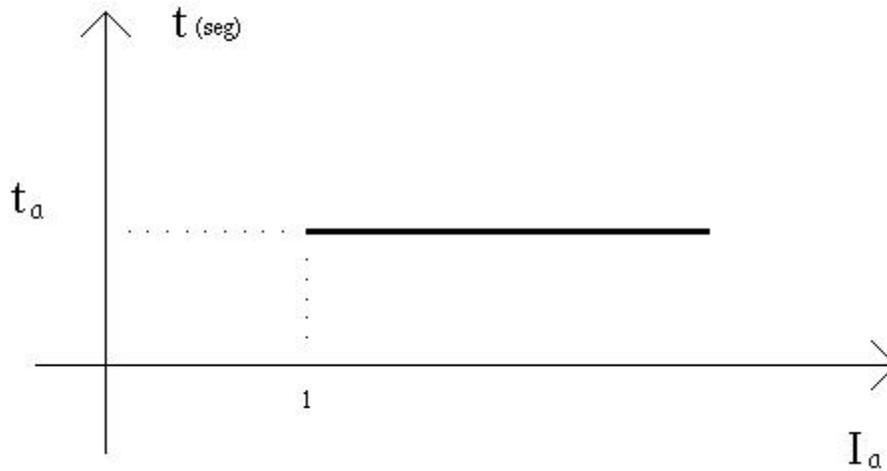


Figura 8

Los relés constan de dos partes fundamentales:

- a) Elemento de arranque, el cual es un relé de sobre corriente instantáneo habitualmente de atracción electromagnética.
- b) Dispositivo de retardo, es cual es un temporizador.

Un tipo simple de estos relés es el esquematizado en la Figura 9.¹⁹

¹⁹ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

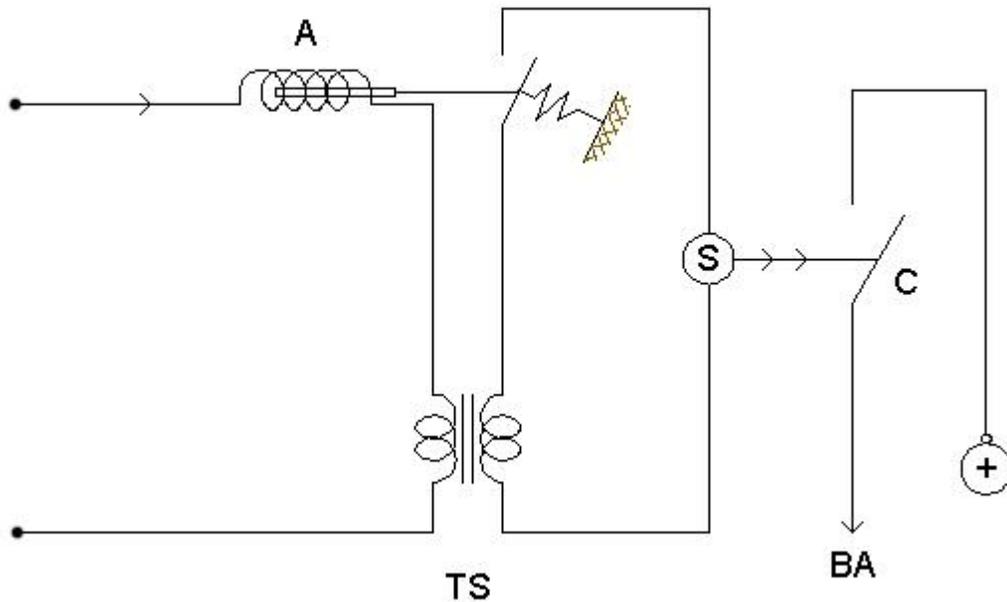


Figura 9

A: elemento de arranque. Se regula la tensión de r

TS: transformador saturable que a partir de un determinado valor de corriente se satura, proporcionando una tensión secundaria constante

S: motor sincrónico que mediante un dispositivo de relojería cierra el contacto C al cabo del tiempo ajustado

El ajuste de la corriente de arranque se logra variando la tensión del resorte antagónico r , el cual tiene una escala graduada para ello.

Existen otros dispositivos posibles y además otros sistemas de retardo. Uno muy difundido es aquel en que la bobina de arranque carga el resorte de un

mecanismo de relojería que mediante un sistema corriente de escape cuéntale tiempo de retardo preajustado.²⁰

El relé representado en la Figura 6 es monofásico, es decir, que la aplicación a sistemas trifásicos implica el uso de tres elementos como los indicados. Sin embargo existen relés trifásicos en el que se suman las tres fases y la resultante acciona un mecanismo único de retardo (Figura 10).

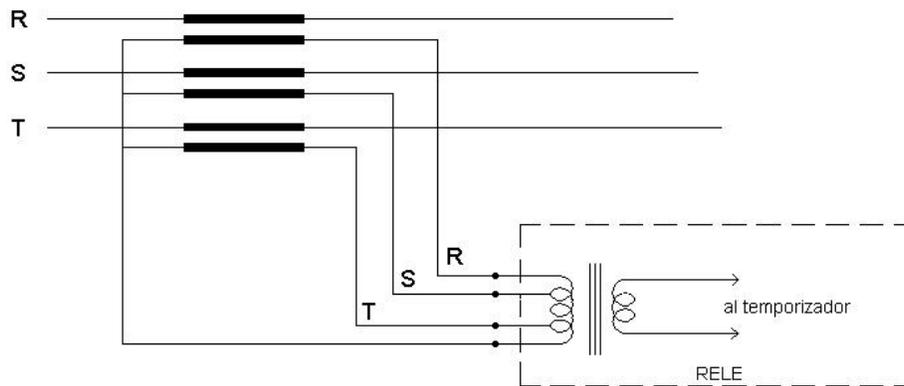


Figura 10

Una ventaja de estos relés es una característica de tiempo independiente que desconecta en un tiempo establecido, tanto en caso de sobrecargas como de cortocircuito. Esto mismo es una desventaja en el caso de tener que proteger varios tramos de la línea consecutivos, ya que por razones de seguridad no es conveniente emplear tiempos inferiores a $\Delta t = 0,5''$ entre dos relés consecutivos, lo cual lleva a una acumulación de tiempos importante a medida que nos aproximamos al generador (Figura 11).

²⁰ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

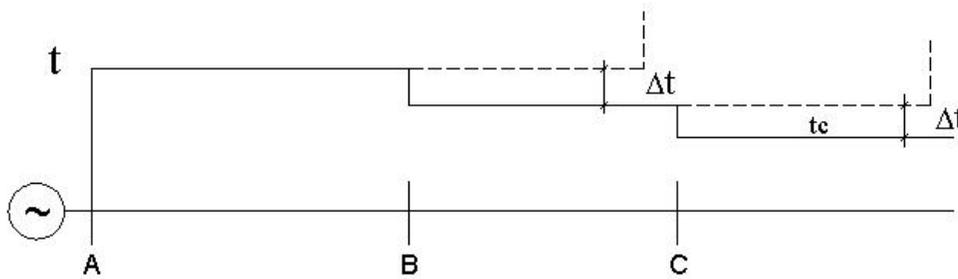


Figura 11

Un inconveniente de estos relés es la diferencia importante entre sus valores de puesta en trabajo y reposición, dado que al excitarse se acorta su entrehierro por lo que se requiere una corriente menor para mantenerlo retenido que para excitarlo. Con diseños especiales puede hacerse que la reposición sea del 90% de la corriente de excitación.

Estos relés no son adecuados para funcionamiento continuo con CA, salvo que se los dote de una espira de sombra para dividir el flujo en el entrehierro en dos componentes fuera de fase, debido a la vibración y ruido que producen.

Estos relés traen incorporado un elemento instantáneo que actúa para valores elevados de corriente de cortocircuito (4 a 8 I_a). Se debe considerar la posibilidad de una excitación intempestiva debido al fenómeno de sobrealcance, producido por la asimetría inicial de las corrientes de cortocircuito. En general, es suficiente regular los relés instantáneos con una corriente de arranque un 25% superior al valor máximo de la corriente de falla simétrica, para la cual el relé no deba funcionar.

La aplicación de estos relés es la siguiente:²¹

- a) Protección principal de líneas de MT y BT, de transformadores de hasta 1 MVA, motores, reactancias, etc.
- b) Protección de reserva de grandes transformadores, líneas de AT y de redes

²¹ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

con sistemas diferenciales.

3.1.2. Protección de sobre corriente de tiempo inverso

Las protecciones de sobre corriente de tiempo inverso son aquellos en que el tiempo de operación disminuye a medida que aumenta la corriente que circula por el relé. De la característica se observa que la dependencia es muy pronunciada para pequeños valores de corriente y luego va desapareciendo a medida que el circuito magnético del relé se va saturando. La característica se muestra en la Figura 12.

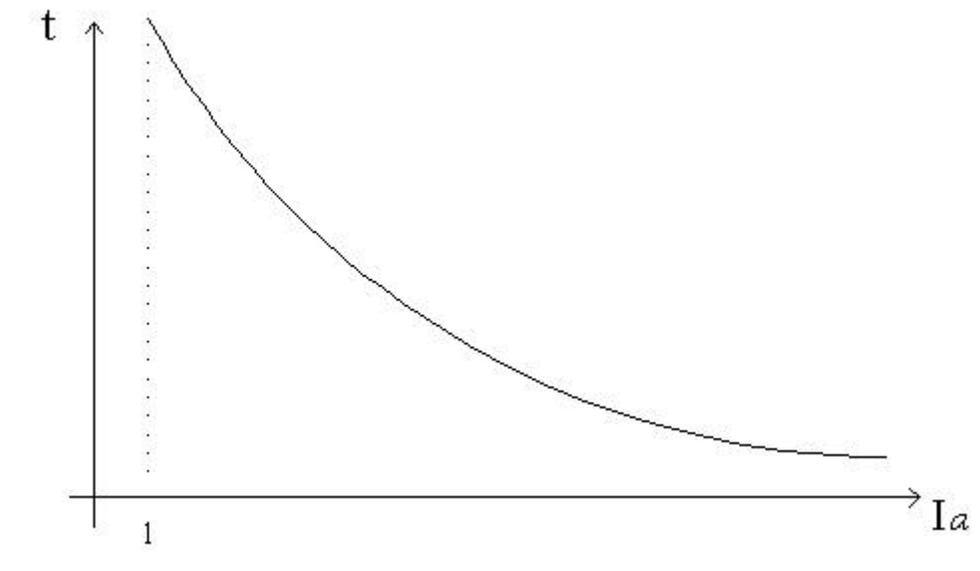


Figura 12

El sistema adoptado es el de inducción basado en el principio Ferraris. En la Figura 13 se muestra un relé de disco de inducción de construcción típica, representándose en la Figura 13.a el esquema básico de principio de funcionamiento, en la Figura 13.b el diagrama vectorial correspondiente y en la Figura 10.c la disposición constructiva del relé.²²

La cupla matriz sobre el disco resulta:

²² U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

$$C_M = k\phi_1\phi_2\text{sen}\gamma$$

Siendo γ el ángulo de desfase entre ambos flujos y k la constante de proporcionalidad.²³

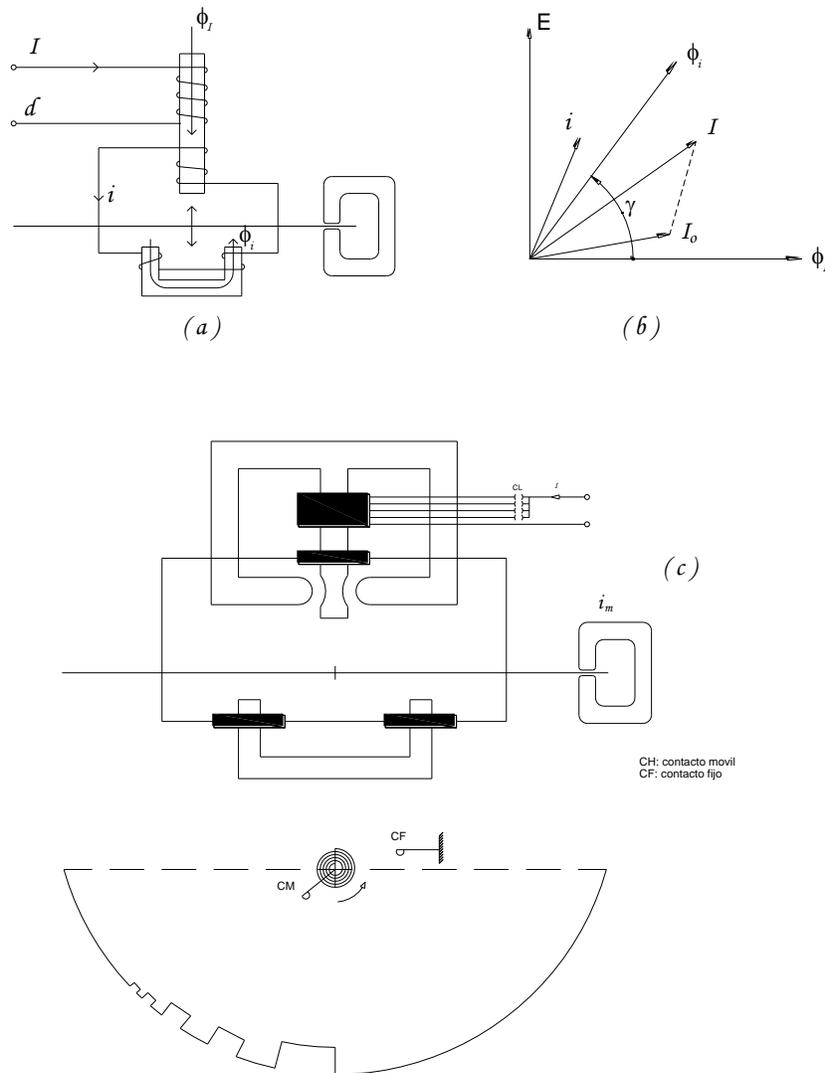


Figura 13

²³ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

El recorrido máximo del disco es en general de 180° a 90° según los fabricantes y sobre él está montado el contacto móvil que al final de su carrera tocará al contacto fijo, dando el impulso de desenganche.

Durante su accionamiento, el disco se desplaza tensando el resorte antagónico encargado de restituirlo a su posición inicial una vez pasada la perturbación; como esta tensión es proporcional al ángulo de desplazamiento, si se pretende una velocidad uniforme del disco la cupla motora deberá ir aumentando su valor en igual proporción. Esto puede lograrse ranurando el disco de mayor a menor en la dirección contraria a la del desplazamiento. Al comienzo de la carrera, las ranuras que quedan entre ambos electroimanes son grandes e interrumpen las corrientes parásitas inducidas en el disco disminuyendo la cupla motora a medida que el disco se mueve en la dirección de desenganche, las ranuras van siendo menores, por lo tanto menor este efecto de debilitamiento. El imán permanente i_m ejerce un efecto de frenado que permite calibrar el relé en el laboratorio.

El ajuste de corriente se logra modificando la posición de CL y el tiempo variando la posición inicial del disco.

Otra variedad de relé es aquel cuyo disco está permanentemente girando por acción de la I_n y al presentarse la sobrecarga, el disco es automáticamente acoplado a un dispositivo mecánico de retardo.

Otro tipo constructivo de estos relés es el de polo sombreado de acuerdo al esquema de la Figura 14.²⁴

²⁴ *U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica*
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

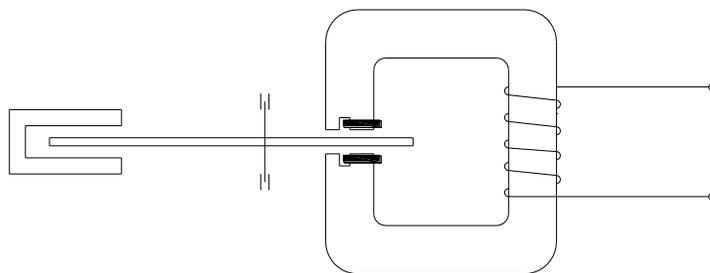


Figura 14

Regulación de los relés.

El relé debe ajustarse de forma tal que el relé debe funcionar para todos los tipos de cortocircuito en su propia línea y debe proporcionar protección de respaldo para los cortocircuitos en el sistema inmediatamente adyacente.

Para los relé de fase se supone fallas trifásicas. Deben regularse de forma tal que accione para la menor corriente de cortocircuito que puede darse pero no debe ser tan sensible como para operar con la máxima carga de la línea operando en emergencia.

Para los relé de tierra se supondrá una falla monofásica a tierra, no interesando la corriente de carga ya que esta es simétrica.²⁵

Son dos las magnitudes que pueden ajustarse en los relés, la corriente y tiempo. La corriente se ajusta variando el número de espiras de la bobina del electroimán. El rango de regulación depende de que se trate de relés de protección de fase (50 a 200% I_n) o relés de tierra (20 a 80% I_n) siendo la I_n igual a 1 o 5 A. El tiempo se ajusta variando el tiempo del disco hasta cerrar los contactos. La escala viene marcada sobre un disco graduado y proporciona el factor por el cual deben multiplicarse los tiempos de la curva de ajuste para determinar el tiempo real de

²⁵ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

operación. En otros casos suele venir indicado en el disco la curva que corresponde de la familia de curvas que suministra el fabricante. Dichas curvas se representan en ejes coordenados apareciendo en ordenadas el tiempo t y en abscisas el múltiplo de la corriente de ajuste MCA.

$$\text{Por definición } MCA = \frac{\text{corriente real de sobrecarga}}{\text{corriente de arranque ajustada}}$$

Con este valor de MCA calculado, entro en la curva y obtengo el tiempo en forma directa o bien a través de un valor que multiplicado por el factor indicado en el disco de ajuste de tiempo se obtiene el tiempo real de desconexión (Figura 15).

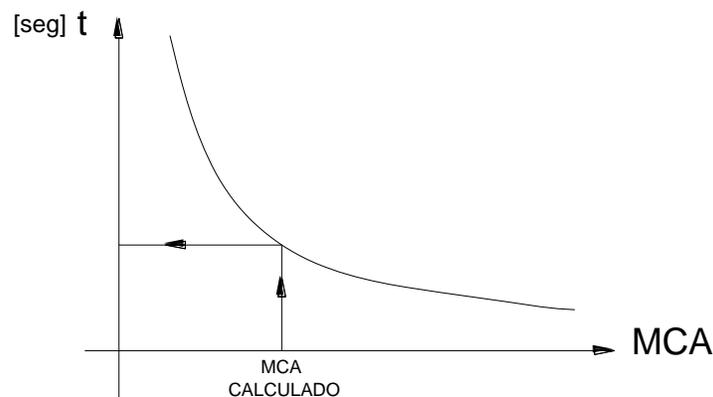


Figura 15

En los relés para los cuales el fabricante suministra en el mismo gráfico t – MCA una familia de curvas correspondiendo una a cada posición del tambor de ajuste de tiempos, se entra con el MCA y en la intersección con la curva correspondiente da el tiempo real de desconexión.²⁶

²⁶ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

Generalmente para valores de MCA mayores de 20, la característica inversa desaparece debido a la saturación del circuito magnético y el relé se comporta como si fuera de tiempo definido. A este tiempo se lo denomina tiempo de saturación.

La regulación de las protecciones consiste en la coordinación de dos factores:

- Corriente de operación
- Tiempo de desconexión

De manera de lograr que se cumpla el requisito de selectividad desconectando únicamente el tramo afectado. Además cada relé debe tener uno anterior que le sirva de reserva.

Intervalo selectivo

Se denomina intervalo selectivo Δt a la menor diferencia de tiempo que se puede tolerar, de acuerdo a curvas, en la operación de dos relés que deben coordinarse entre sí para todas las corrientes de cortocircuito que pueden llegar a circular por ellos. Para determinar el intervalo selectivo se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Errores propios en los tiempos de accionamiento del relé
- Tiempo de apertura de los interruptores
- Inercia o sobregiro

Los errores de los relés son de tiempo de accionamiento en más y menos por lo que se considera para cada curva una franja de tolerancia y de corriente de accionamiento. Los errores de los relés se muestran en la Figura 16, alcanzando un valor de $\pm 10 - 12\%$.²⁷

El Δt se puede considerar como valor promedio en 0,150 seg.

²⁷ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

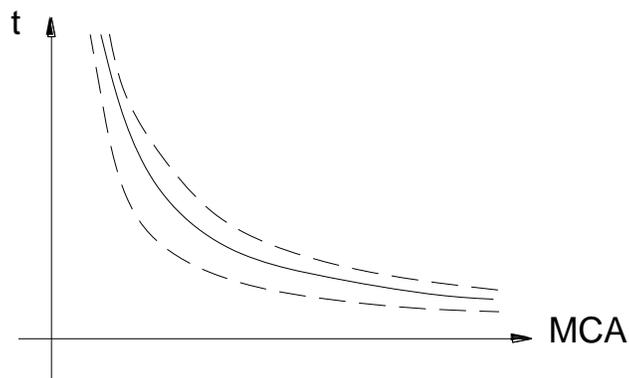


Figura 16

El tiempo de apertura de los interruptores se adopta en 0,200 seg. y representa la demora entre que el relé emite la orden y el interruptor actúa.

Inercia o sobregiro, representa el giro adicional una vez eliminada la corriente de falla. Se adopta como valor promedio en 0,050 seg.

Finalmente el intervalo selectivo se adoptará igual a $\Delta t = 0,500$ seg., el cual se utilizará en la práctica respectiva.

Ejemplo:

Regular los relés para que se tenga selectividad en el esquema de la Figura 17.²⁸

²⁸ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

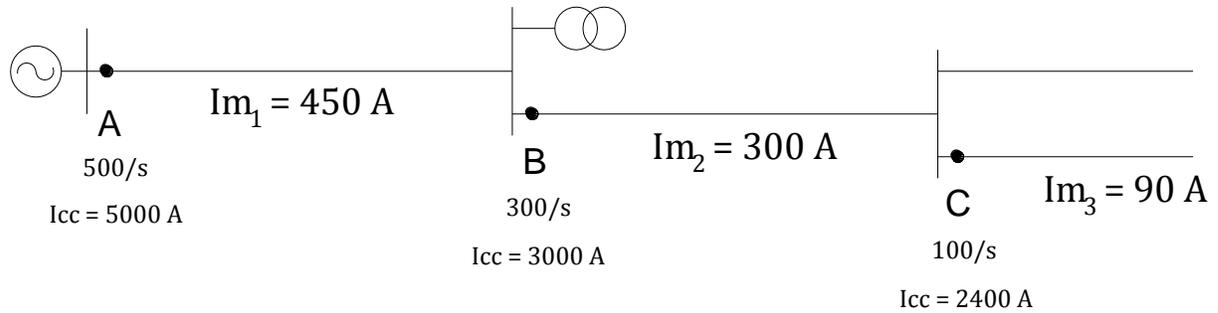


Figura 17

A – B – C: relés de inducción de $I_n = 5A$

La corriente de arranque se ajusta de 100% al 140% de la nominal del circuito a proteger, dependiendo si se trata de líneas, transformadores, etc.

El intervalo selectivo $\Delta t = 0,5''$

Características del relé a utilizar:

$I_n = 5A$

Rango de ajuste de corriente: 3 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 A

Rango del multiplicador de tiempo: 4'' a 20'' en forma continua.

Se adjunta Figura con familia de curvas t – MCA.

Tomando estas consideraciones como base, se procede al cálculo de ajuste comenzando por el extremo más alejado.²⁹

Ajuste del relé C

$$I_a = 1,2 I_n = 1,2 * 90 = 108A \rightarrow i_a = \frac{108}{100/5} = 5,4A$$

Como esta corriente no es ajustable en el relé se adopta la inmediata superior, o sea:

²⁹ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

$$i'_a = 6a \rightarrow I'_a = 6 \frac{100}{5} = 120A$$

$$MCA = \frac{2400}{120} = 20$$

Por tratarse de un extremo de línea se adopta el tiempo mínimo o sea la curva 4 (C – 4), por lo tanto entrando con MCA = 20 y eligiendo la C – 4 se tiene un tiempo de actuación $t = 0,11''$.

Ajuste del relé B

La condición de correcta selectividad es que para la misma corriente de cortocircuito (2400A), el tiempo del relé B debe ser por lo menos 0,5" superior al del relé C.

$$\therefore t_{B_3} \geq t_{C_3} + 0,5'' = 0,11'' + 0,5'' = 0,61''$$

La corriente de arranque se fija en $1,2 I_n$.

$$I_a = 1,2 * 300 = 360A \rightarrow i_a = \frac{360}{300/5} = 6A$$

$$MCA = \frac{2400}{360} = 6,67$$

Con MCA = 6,67 y $t_{B_3} \geq 0,61''$, de la familia de curvas se adopta C – 6.

El relé B quedaría ajustado en 6A / C – 6 y $t_{B_3} = 0,7''$.

Hay que verificar el tiempo de operación del relé B para fallas en su propio tramo, es decir t_{B_2} .

$$MCA = \frac{3000}{360} = 8,3$$

$$\text{Elijo C – 6} \rightarrow t_{B_2} = 0,6''$$

Ajuste del relé A

La condición de selectividad es que el tiempo del relé A para fallas en el tramo 2 debe ser 0,5" mayor que el relé B.³⁰

$$t_{A_2} = t_{B_2} + 0,5" = 0,61" + 0,5" = 1,11"$$

Se adopta la corriente de arranque $I_a = 130\% I_n$

$$I_a = 1,3 * 150 = 585A \rightarrow i_a = \frac{585}{\frac{500}{5}} = 5,85$$

Dado que el relé no puede regular $i_a = 5,85A$, se ajusta al valor inmediato superior o sea:

$$i_a = 6A \rightarrow I_a = 600A$$

$$MCA = \frac{3000}{600} = 5$$

Con $MCA = 5$ y $t_{A_2} \geq 1,11"$ \rightarrow adopto C – 8 obteniendo $t_{A_2} = 1,4"$

Se debe verificar la coordinación entre el relé C y el A

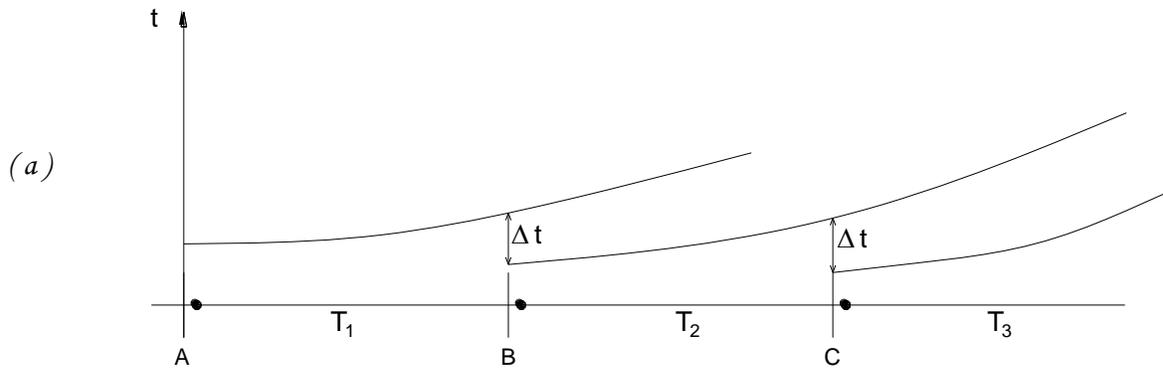
$$\Rightarrow MCA = \frac{2400}{600} = 4 \text{ y } C - 8 \rightarrow t_{A_3} = 1,5"$$

Finalmente se verifica el tiempo del relé A para falla en su propio tramo.

$$MCA = \frac{5000}{600} = 8,3 \rightarrow C - 8 \rightarrow t_{A_1} = 1,1"$$

Una vez calculado los ajuste de relés, es posible construir el gráfico de la Figura 18.a y la tabla de la Figura 18.b.

³⁰ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>



Relé	Curva	i_a	TI
A	8	6	500/5
B	6	6	300/5
C	4	6	100/5

(b)

Figura 18

Características de relés

Es importante construir la curva “tiempo de desconexión” en función de la “corriente de cortocircuito” cuando no se emplean relés de igual marca y tipo, o sea cuando las características $t - I$ pueden ser distintas. Para calcular ello se supone el circuito de la Figura 19 y se grafican las características $t - I$ de los relés A y B.³¹

³¹ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Electricas/2923751.html>

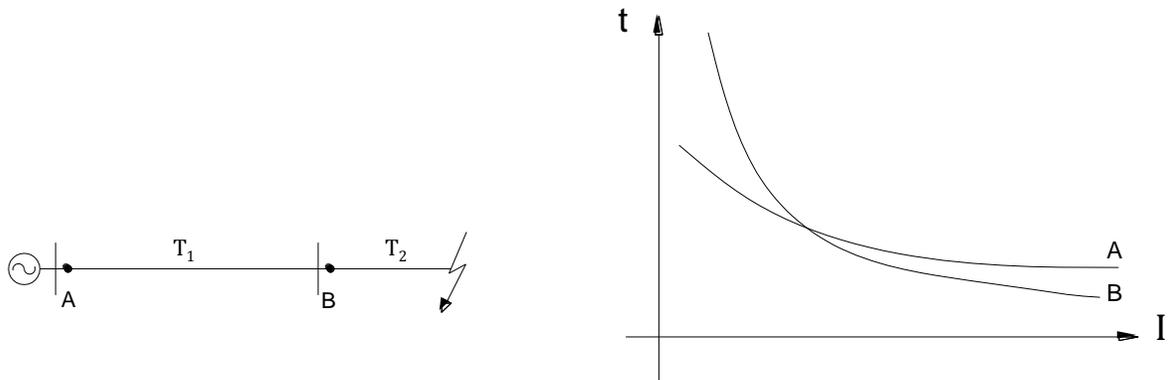


Figura 19

Se observa que el relé A es más aplanado que el B.

Si el ajuste ha sido efectuado tal que el tiempo del relé A sea 0,5" superior al del relé B para la máxima corriente de cortocircuito del tramo 2, puede suceder que para fallas más alejadas o en caso de mínima generación, la corriente adopta un valor inferior al empleado para el cálculo y los tiempos del relé A son inferiores a los del relé B por lo que pierde selectividad. Para que esto no ocurra se deben disponer los relés de características más aplanada en los tramos más alejados del generador. De esta forma se logra coordinar las características de los relés de acuerdo a lo indicado en la Figura 20.³²

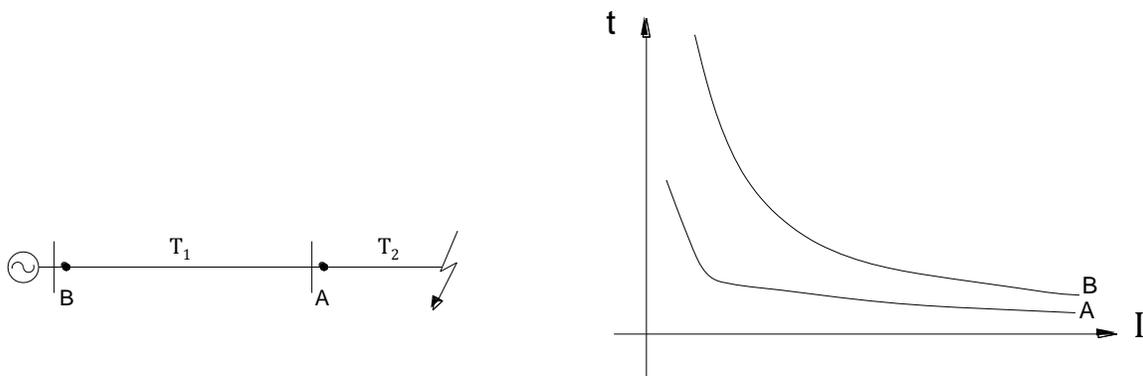


Figura 20

Características de los relés de tiempo muy inverso y extremadamente inverso

³² U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

Las curvas de los relés de tiempo muy inverso responden a la ecuación:

$$t = \frac{k}{I - I_a} \quad \text{si } I > I_a$$
$$t = \infty \quad \text{si } I \leq I_a$$

k: cte. relacionada con la regulación de tiempo

Por otro lado, las curvas de relés extremadamente inverso responden a la ecuación:

$$t = \frac{k}{I^2 - I_a^2} \quad \text{si } I > I_a$$
$$t \rightarrow \infty \quad \text{si } I \leq I_a$$

Existen otros dispositivos cuya ecuación de la curva $t - I$ tiene coeficientes mayores que 2, llegando en casos extremos a coeficientes 8.

3.1.3. Esquemas de conexiones de relés de máxima corriente

La conexión de relés de máxima corriente y la cantidad necesaria de ellos para la protección de líneas o máquinas difiere según se trate de un sistema de neutro aislado (o aislado con bobina de Petersen) o de un sistema con neutro a tierra (directo o a través de impedancia).

En la Figura 21 se presentan distintos casos para un sistema con neutro a tierra. Ellos son:

Figura 21.a: se utilizan 3 relés de fase

Figura 21.b: se utilizan 2 relés de fase y uno de tierra

Figura 21.c: combinación de los 2 casos anteriores, se logra mayor respaldo frente a fallas de cualquiera de ellos.³³

³³ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

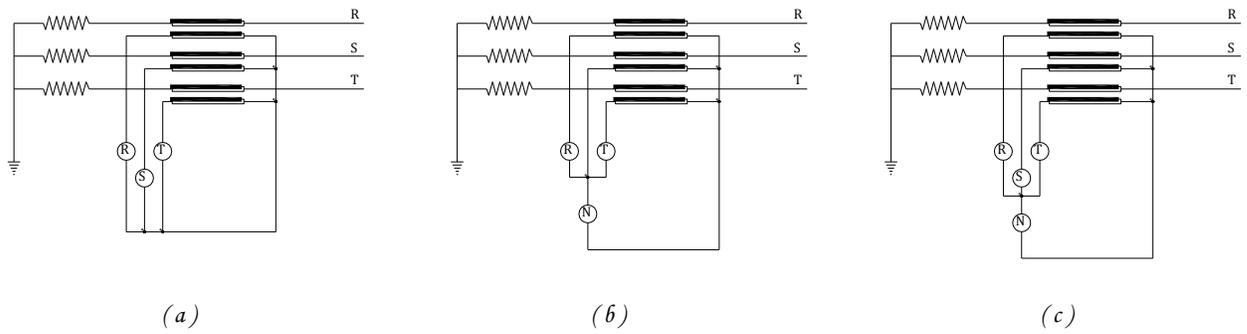


Figura 21

En la Figura 22 se presentan distintos casos para sistemas aislados de tierra. Ellos son:

Figura 22.a: es la conexión más conveniente

Figura 22.b: cuando se adopta esta configuración, los relés se deben colocar siempre en las mismas fases en todo el sistema ya que de otro modo fallas simultáneas a tierra en diferentes fases y lugares pueden no ser protegidas.³⁴

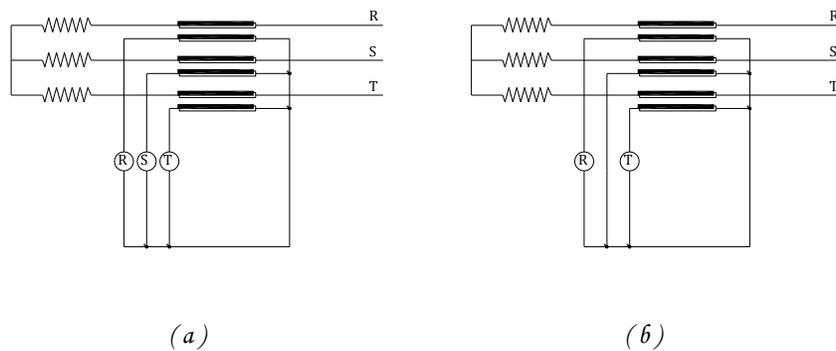


Figura 22

³⁴ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

3.1.4. Elemento instantáneo

El uso de los elementos instantáneos incorporados en los relés de sobre corriente, permite disminuir el tiempo de despeje de gran número de fallas.

Cada unidad instantánea debe ser regulada para que accione con las máximas corrientes de falla en el primer 70% de la línea protegida, manteniendo el 30% restante como margen de seguridad práctico. La regulación se muestra en la Figura 23 para relés de tiempo definido y en la Figura 24 para relés de tiempo inverso.

Si se tienen corrientes de cortocircuito similares en ambos extremos de la línea, caso de líneas cortas, la regulación del elemento instantáneo es prácticamente imposible.

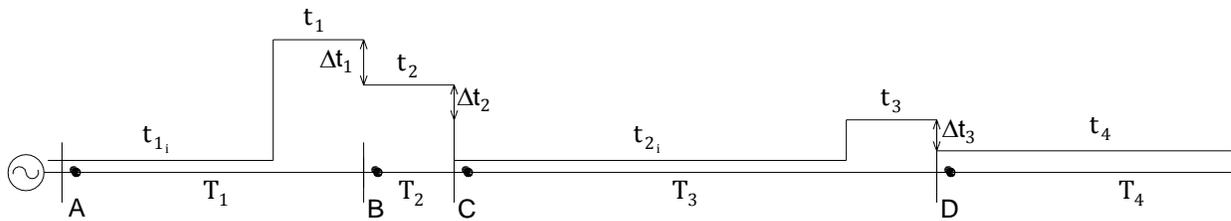
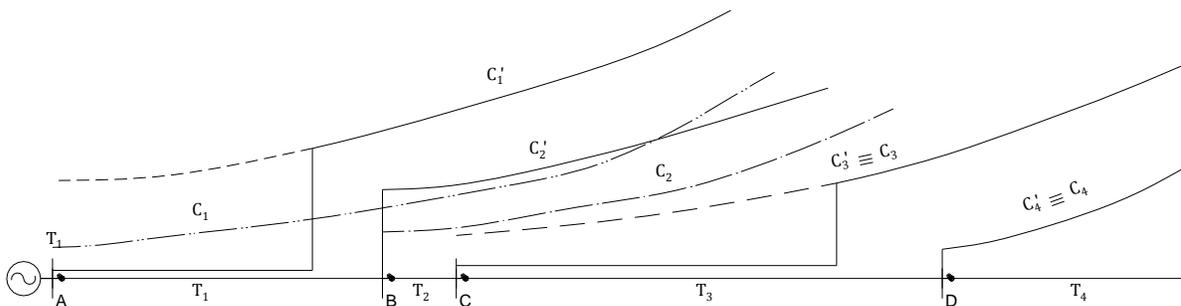


Figura 23

C': curva inicial de coordinación necesaria sin uso del elemento instantáneo

C: regulación definitiva utilizando el elemento instantáneo³⁵



³⁵ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Electricas/2923751.html>

Figura 24

Es importante tener en cuenta el sobre alcance del relé instantáneo para asegurar que únicamente actúe para fallas _____. La unidad instantánea se ajusta de 4 a 10 veces la I_n del relé.

3.1.5. Protecciones de sobre corriente direccionales

En todos los casos al hablar de protecciones de máxima corriente nos hemos referido a sistemas radiales, o sea cuando la energía circula hacia la falla desde un único lugar. De ese modo se lograba la regulación sin inconvenientes a partir del relé más alejado del punto de generación.

Para el caso de sistemas anillados y/o con alimentaciones múltiples, la energía hacia la falla puede realizarse de ambos sentidos complicando ello la regulación de los mismos (Figura 25).

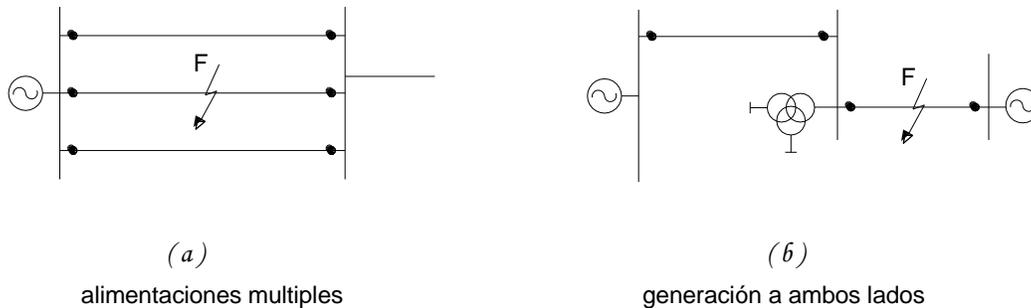


Figura 25

Se observa que para la falla F debe ser eliminado únicamente el tramo afectado.

La solución consiste en adicionar a cada relé de máxima corriente una unidad direccional la cual es la encargada de determinar hacia donde se encuentra la falla. Dada la condición de direccionalidad, el procedimiento para el escalonamiento de los relés de máxima corriente sigue iguales principios que los vistos anteriormente (Figura 26).³⁶

³⁶ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

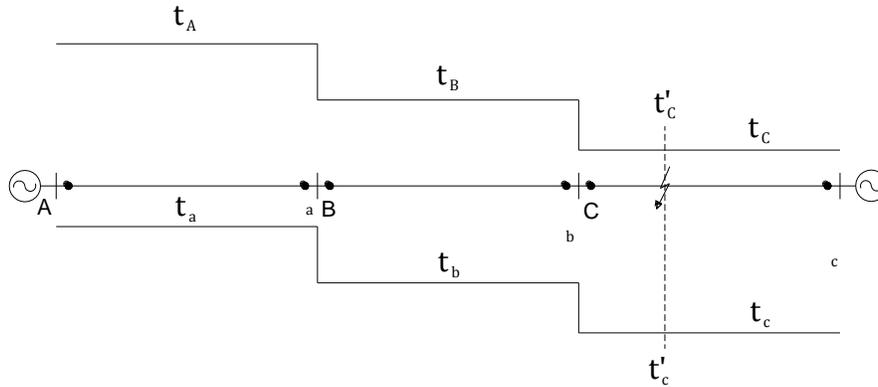


Figura 26

El elemento direccional es un relé vatimétrico siendo alimentado con tensión y corriente similar a un medidor de energía y capaz de actuar con tensiones de hasta el 2% de la nominal. Una representación típica se muestra en la Figura 27.

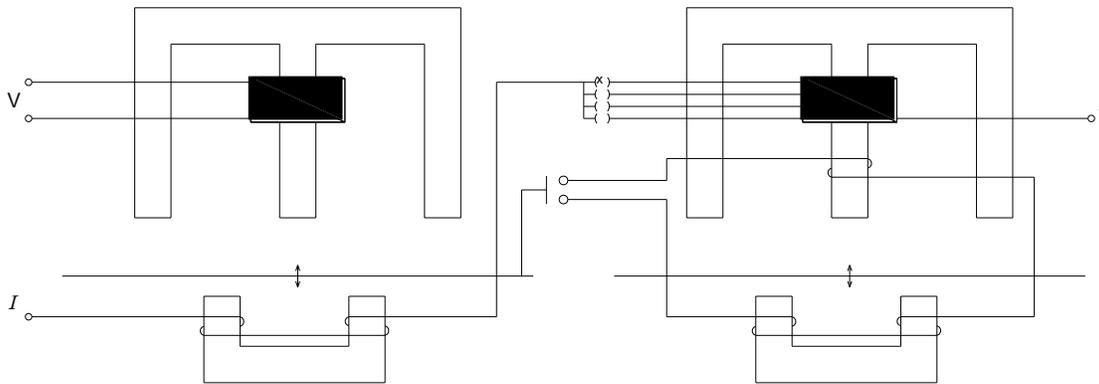


Figura 27

La cupla motora ejercida sobre el disco será: $C_M = kVI \cos \varphi$ ³⁷

Siendo φ el desfase entre la tensión y la corriente. Por lo tanto se observa que para lograr la cupla máxima debe elegirse una tensión que se encuentre en atraso en un

³⁷ U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

ángulo igual al de cortocircuito. Un ángulo conveniente y fácil de obtener es el de 30° o sea se obtiene la conexión de 30° la cual se indica en la Figura 28.

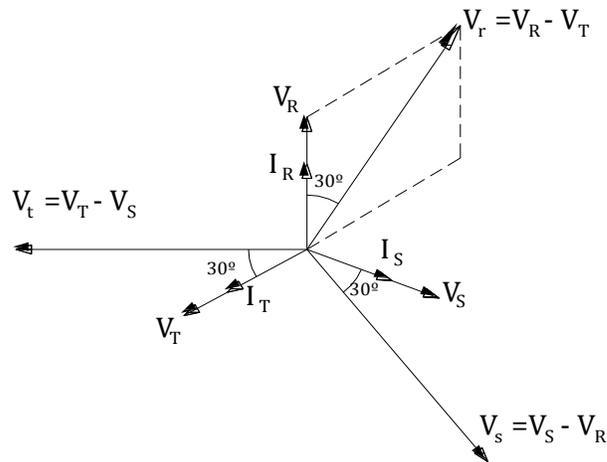
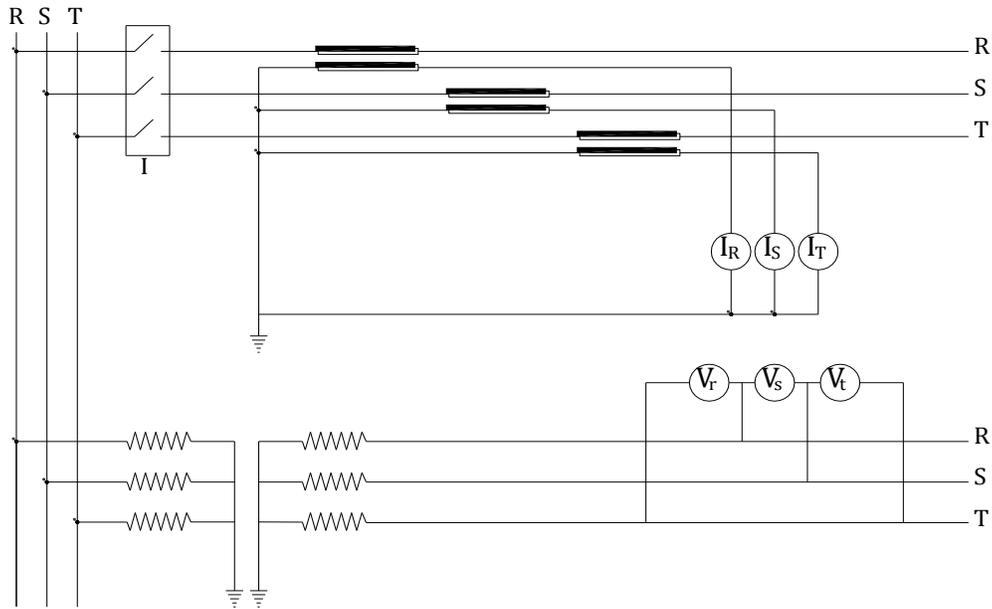


Figura 28

Se deben conectar las bobinas de corriente en estrella y las de tensión en triángulo.

Cuando se trata de grupos transformador – línea aérea cuyo ángulo de cortocircuito es mayor, se emplea la conexión de 45° de acuerdo a lo mostrado en la Figura 29.

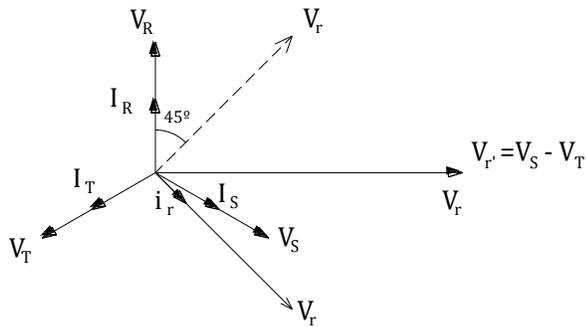
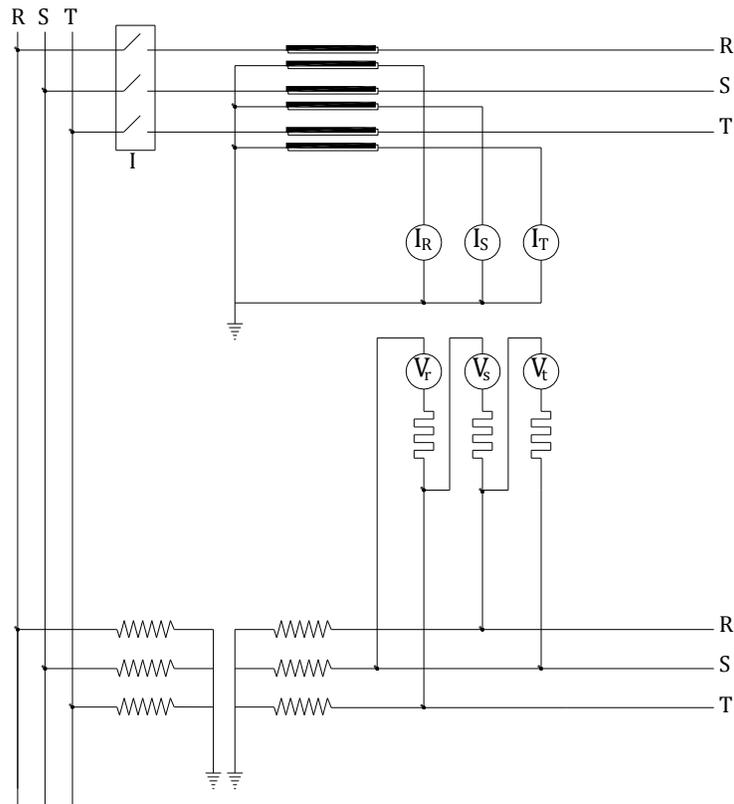


Figura 29

Se logra el $\varphi = 45^\circ$ tomando las tensiones compuestas decaladas 90° con respecto a la corriente elegida y colocando en serie con la bobina voltimétrica una resistencia cuyo valor sea tal que la caída de tensión en ella resulte atrasada con respecto a la

I_R en los 45° descalados. En el diagrama vectorial de la Figura 26, la corriente i_r es la corriente por el circuito de tensión y resultará también atrasada 45° con respecto a la tensión compuesta $S - T$ que atrasa 90° con respecto a I_r .

Tanto la conexión de 30° y 45° no absorbe el inconveniente de $C_M = 0$ por falta de tensión, sin embargo una falla en el funcionamiento por caída de tensión es poco factible dada a sensibilidad que se considera ($2\% V_n$).

3.1.6. Relés de sobre corriente con retención de tensión.

Es un sistema muy utilizado por americanos e ingleses como protección de reserva de generadores. Es un relé de sobre corriente del tipo de inducción pero con cupla antagónica proporcional a la tensión, o sea que opera en tiempos cortos para fallas próximas al generador y se mantendrá estable para sobrecargas en el generador ubicados en puertos alejados.

En este caso el fabricante suministra una familia de curvas del tipo MCA – t para cada valor de tensión. Generalmente el relé direccional se proporciona separado del relé de máxima corriente.³⁸

³⁸ *U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica*
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>

CAPITULO III: SISTEMA DE PROTECCION PARA EL NODO B

MASS@TIERRA es un sistema del tipo estructural de puesta a tierra física de alta eficiencia de disipación y baja impedancia permanente, el sistema esta soportado por las leyes de la física, normativa y lineamientos internacionales.

MASS@TIERRA es el resultado de un trabajo profesional de investigación y pruebas para la reingeniería aplicada a los actuales criterios de aterrizajes donde se respetan las normas establecidas.

La tierra física es el conjunto formado por electrodo y líneas de tierra de una instalación eléctrica la cual tiene como función de forzar o drenar al terreno las intensidades de corrientes que se pueden originar por cortocircuito, por inducción o por descarga atmosférica.

La tabla comparativa que a continuación presentamos nos permite valorar de acuerdo a su comportamiento al sistema MASS@TIERRA con el sistema tradicional.

Servicio que se REQUIERE	SISTEMAS MASS@TIERRA	Mallas, Varillas y Electrodo Químicos
Impedancia permanente y baja.	✓	✗
Requiere Mantenimiento	✗	CORTO TIEMPO
Areas Equipotenciales.	PERMANENTE	CORTO TIEMPO
Confina EMI / RFI	✓	✗
Reduce Voltaje de Paso y Toque.	✓	✗
Eficientiza red eléctrica	✓	CORTO TIEMPO
Proporciona campo catódico	✓	✗
Es un sistema unidireccional para el flujo de corriente.	✓	✗
Reduce el factor de perdidas en transformadores	✓	✗
Minimiza el efecto Joule en Transformadores.	✓	✗
Separa tierras, neutros, 3er hilo, "0" lógico, masas y Pararrayos.	✓	✗
Cumple con las Normas IEEE y NOM	✓	✓

El sistema MASS@TIERRA es un sistema de protección unidireccional no permite el retorno de corriente y presenta las siguientes características:

- Mejora en la eficiencia del transformador (baja reluctancia magnética).
- Atenuación de radiación de campos magnéticos al mejorar el efecto de apantallamiento en su blindaje.
- Ahorro de energía al atenuar la radiación electromagnética y disminución del efecto joule.
- Incremento del transporte de la energía eléctrica

- Mayor vida eficiente para los bancos de capacitores.
- Incremento en la eficiencia del neutro.
- Cancelación de los “bucles” o diferencias de potencial entre los gabinetes de distribución y el transformador; y en general, en toda la red de distribución eléctrica.
- Baja temperatura en transformadores y motores
- Real acoplamiento eléctrico entre potencia y carga.
- Impedancia baja (2 ohms) y efectiva a tierra.
- Disminuye el efecto galvánico (corrosión)
- Al instalar el sistema MASS@TIERRA en industrias, talleres y centros de producción en general, se protege a toda la maquinaria, equipo electromecánico y electrónico como son las máquinas-herramientas, los motores y controles electrónicos, por lo que se obtiene:
 1. Incremento en la seguridad del centro de trabajo
 2. Ahorro de energía al operar transformadores con un “Xo” a muy baja impedancia total y en amplio espectro frecuencial (LI2R).
 3. Mayor tiempo de vida en los sistemas, equipos y aparatos.
 4. Disminución en fallas y desperfectos.
 5. Menor costo de mantenimiento correctivo a la instalación.
- El sistema MASS@TIERRA no requiere mantenimiento.

En el caso de equipo electrónico de alta sensibilidad y micro componentes, entre el que podemos incluir los equipos de transmisión de estaciones de radio y televisión, telefonía analógica y digital, electro medicina, bancos y cajeros electrónicos, telemetría, aeronavegación, computación, laboratorios, hotelería, hospitales y centros médicos, salas de cine y teatro, etc., el sistema MASS@TIERRA los protege en forma extraordinaria.

Este sistema va dirigido a la industria, la telefonía, residencia, prácticamente todo lo que tenga que ver con energía.

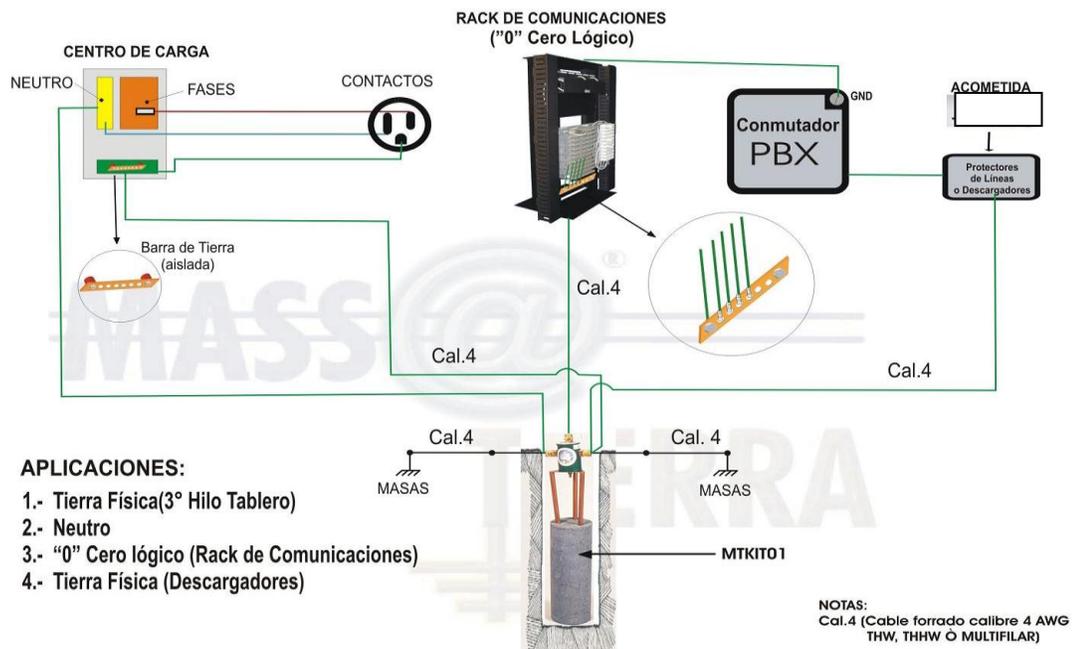
METODOLOGÍA

- 1- Se toma medidas del terreno.
- 2- Se realiza la caja de registro de 50x50 con una profundidad de un metro.
- 3- Se incrusta la varilla de cobre en forma de triangulo invertido.
- 4- Se conecta el maslink.
- 5- Se cubre con el acondicionador de terreno.
- 6- Se conecta todos los polos tierras al maslink con el cable verde #4.

Y tenemos nuestro sistema Mass@tierra.

Sistema MASS@TIERRA

Arreglo Típico para un Site de Telecomunicaciones



PROPUESTA DE IMPLEMENTACION



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Factibilidad Técnica

Requerimiento técnico:

Varilla de cobre: es una varilla en forma triangulo invertido que sirve como polo tierra.

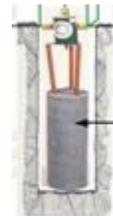


Maslink: es la trampa magnética que complementa a la varilla de cobre, esta compuesta de diodos para disipar las grandes corrientes de descarga.

Acondicionador de terreno: reductor de resistividad del terreno en el punto de contacto con el electrodo.



Caja de registro de 50x50: caja hecha de bloque para fijar el sistema Mass@tierra (varilla de cobre con el maslink).



Cable THHN # 4 color verde: alambre eléctrico que se ocupa para el paso de corriente de alto voltaje, color verde por normas eléctricas.



CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONOMICA

Costo Anual Uniforme Equivalente. (CAUE)

El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado.

Casi siempre hay más posibilidades de aceptar un proyecto cuando la evaluación se efectúa a una tasa de interés baja, que a una mayor.

Método de la relación Beneficio/Costo (B/C)

La relación Beneficio/costo esta representada por la relación:

Ingresos

Egresos

En donde los Ingresos y los Egresos deben ser calculados utilizando el VPN o el CAUE.

El análisis de la relación B/C, toma valores mayores, menores o iguales a 1, lo que implica que:

- $B/C > 1$ implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es aconsejable.
- $B/C = 1$ implica que los ingresos son iguales que los egresos, entonces el proyecto es indiferente.
- $B/C < 1$ implica que los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto no es aconsejable.

A continuación se procede a analizar si es factible la implementación del sistema de puesta a tierra Mass@Tierra.

El costo de implementar el sistema Mass@Tierra para la protección de los equipos en la estación base es de **\$11,205** dólares y producirá un ahorro estimado en reparaciones de equipos dañados por fluctuaciones eléctricas de **\$4,120** dólares al año, por otra parte, evitara perdidas por suspensión temporal del servicio en caso de un equipo se dañe, calculado en **\$1,125** dólares al año. Si para implementar el nuevo sistema de puesta a tierra se decidiera prestar los **\$11,,205** al banco con una tasa de interés del 18% anual. ¿Es factible implementar el sistema Mass@Tierra?

Si se utiliza el método CAUE para obtener los beneficios netos, se debe analizar las ganancias por ahorro reparaciones y las ganancias por evitar suspensiones temporales de servicio, por lo tanto, los beneficios netos serán:

$$\text{Beneficios netos} = \$5,120 + \$1,125$$

$$\text{Beneficios netos} = \$5,245$$

Ahora se procede a obtener el costo anual, dividiendo los \$10,205.31 en una serie infinita de pagos:

$$\text{Anualidad} = R / i \quad \Rightarrow \quad R = A * i$$

$$R = \$11,205 * 0.18 \quad \Rightarrow \quad R = 2,016.9$$

Entonces la relación Beneficio/Costo estaría dada por:

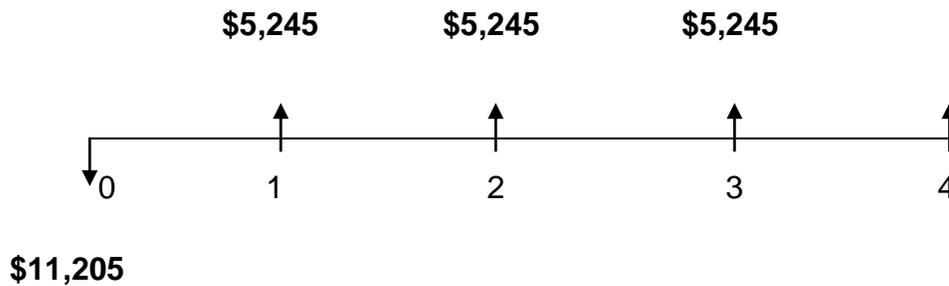
$$B/C = 5245 / 2,016.9$$

$$B/C = 2.68$$

El resultado es mayor 2.68, es mayor que 1, por eso **es factible** implementar el nuevo sistema.

Periodo de recuperación de la inversión.

Consiste en determinar el número de periodos necesarios para la recuperación de la inversión inicial. Con la información acerca del monto de la inversión requerida y los flujos que genera la inversión durante su vida útil se procede a calcular su rendimiento. Se acostumbra representar las inversiones utilizando un diagrama de flujos como el siguiente:



Las flechas hacia abajo indican flujos de caja negativos o desembolsos, las flechas hacia arriba se refieren a ingresos o entradas de caja.

Para la inversión y suponiendo que cada periodo corresponde a un año, la inversión inicial se recuperara en aproximadamente **2.13 años**, calculado de la siguiente manera:

AÑO	SE RECUPERA	ACUMULADO
01	\$5,245	\$4,020
02	\$5,245	\$10,490

03	\$5,245	\$15,735
----	---------	----------

Al finalizar el año 2 la empresa ha recuperado \$10,490, le bastaría, por lo tanto, recuperar \$715 adicionales para cubrir los \$11,205 invertidos al principio. Como en el año 3 se recupera \$5,245 la proporción del año necesaria para generar \$750, sería:

$$\mathbf{\$750 / \$5245 = 0.14}$$

Por lo tanto el periodo de recuperación de la inversión de implementar el sistema Mass@Tierra es de **2.14 años**.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio documental acerca de los sistemas de puesta a tierra para la protección de sistemas eléctricos donde se encontraron diferentes tipos de opciones de protección en cuanto a desempeño y costos, se logro investigar que los sistemas de puesta a tierra convencionales como son los de varia de cobre en cualquier tipo de configuración que se use como la configuración malla, ofrecen un bajo costo económico por su sencillez pero al mismo tiempo ofrecen un bajo desempeño por la desventaja de ser Biderreccionales y tiempo de vida útil reducido, así mismo se logro investigar de un nuevo sistema de puesta a tierra llamado Mass@Tierra que elimina las desventajas de los sistemas convencionales por ser uniderrecional, tiempo de vida útil mayor de 15 años y estructural, pero a un costo económico mayor que los sistemas convencionales alrededor de los 10,000 dólares.

Se realizo un escenario de implementación del sistema de puesta a tierra Mass@Tierra en una Estación Base Nodo B, donde se implementan sistemas Mass@Tierra debido a que se protegen una gran cantidad de equipos de telecomunicaciones y equipos eléctricos para el suministro de energía, en el diseño se puede observar que se instaló un sistema único para la torre de transmisión puesto que tiene un alto riesgo de ser alcanzada por un rayo, se protegen salas como; Sala de Conmutación, Sala de Rectificadores, Sala de Energía, BTS, Torre de Transmisión y Distribuidor Principal.

Se realizo un estudio del costo económico del sistema de puesta a tierra propuesto Mass@Tierra, donde se incluyen tanto el sistema en si, como los accesorios, herramientas y equipos necesarios para su implementación, tambien el costo de la mano de obra necesaria, obteniendo como resultado un costo economico de 11,205 dólares.

BIBLIOGRAFÍA

- www.mass@tierra.com.mx
- <http://idersa.com.mx/tecnologia.html>
- <http://www.ceeesa.com.mx/tecnologia.html>
- www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/UMTS.doc
- ***U.T.N. Facultad Regional Rosario – Departamento de Ing. Eléctrica***
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Protecciones-De-Redes-Elctricas/2923751.html>