

TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO
CAMPUS MINATITLAN

INGENIERIA ELECTROMECHANICA
MANTENIMIENTO A PROTECCIONES ELECTRICAS

CONCEPTOS BASICOS DE
PROTECCIONES

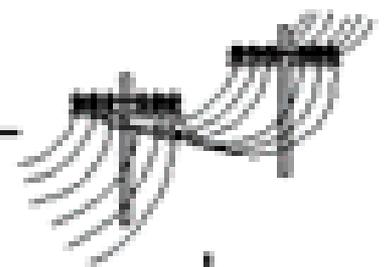
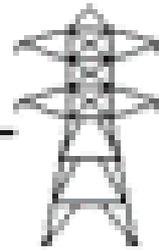
3. Temario.

No.	TEMAS	SUBTEMAS
1	CONCEPTOS DE PROTECCION POR RELEVADORES	1.1 Tipos de falla 1.2 Zonas de protección 1.3 Transformadores de instrumento (TC y TP) 1.4 Fusibles 1.5 Interruptores termomagnéticos 1.6 Interruptores electromagnéticos
2	COORDINACION DE PROTECCIONES	2.1 Esquemas de protección (diagrama unifilar) 2.2 Graficas tiempo-corriente de las protecciones 2.3 Márgenes de coordinación 2.4 Ruta a coordinar 2.5 Cálculo para ajuste de las protecciones 2.5 Curvas de coordinación de las protecciones
3	PROTECCION A EQUIPO ELECTRICO	3.1 Protección a motores 3.2 Protección a generadores 3.3 protección a transformadores 3.4 Protección a alimentadores y circuitos derivados
4	COORDINACION CONTRA FALLA A TIERRA	4.1 Tipos de protecciones 4.2 Selección y ajuste de las protecciones 4.3 Coordinación de las protecciones 4.4 Curvas de coordinación

1. Enríquez Harper, Gilberto. *Elementos de protección de sistemas eléctricos*. México, LIMUSA, 2008.
2. Enríquez Harper, Gilberto. *Protección de sistemas eléctricos industriales y comerciales*. México, LIMUSA, 2008.
3. Enríquez Harper, Gilberto. *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores*. México, LIMUSA, 2002.
4. Enríquez Harper, Gilberto. *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos industriales*. México, LIMUSA, 2004.
5. Estévez Tapia, Ángel. *NOM 001-SEDE 2005, Instalaciones Eléctricas (utilización)*, México LIMUSA, 2001.
6. M. Mujal, Ramón. *Protección de sistemas eléctricos de potencia*. España, Universidad politécnica de Cataluña, 2002.
7. Russell, Mason, *El arte y la ciencia de la protección por relevadores*. México, Editorial Continental, 1982.
8. Toledo Toledo, Fernando. *Protección de sistemas eléctricos*. Mexico. Universidad Metropolitana, 2009.

¿QUE ES UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA?

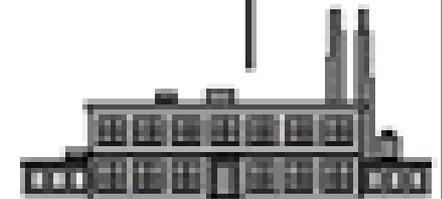
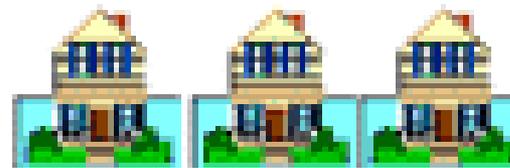
ES EL CONJUNTO DE RECURSOS MATERIALES Y HUMANOS QUE SE ENCARGAN DE LA GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, CON MÁXIMA DISPONIBILIDAD Y MÍNIMAS PERDIDAS DE ACUERDO A LIMITES ESPECIFICADOS DE VOLTAJE, CORRIENTE Y FRECUENCIA, TOMANDO EN CUENTA LA SEGURIDAD Y ASPECTOS AMBIENTALES.



Generación

Transmisión

Distribución



Clientes en Baja Tensión

Clientes en Baja Tensión

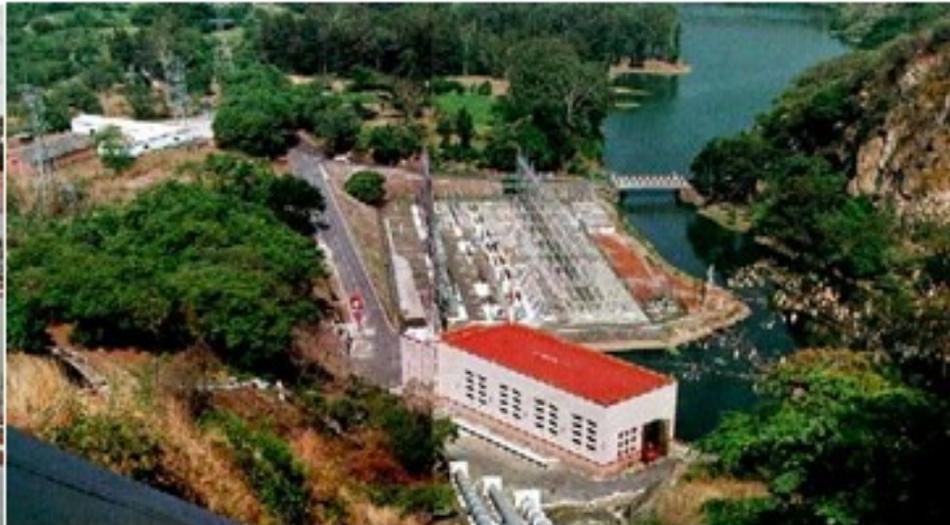
Clientes en Media Tensión

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO

1. Generadores
2. Transformadores de potencia
3. Líneas aéreas
4. Barras
5. Equipo en general conectado como carga
6. Dispositivos de Protección
7. Circuitos de Distribución

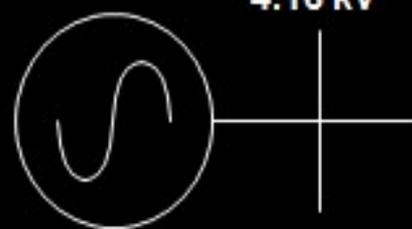
GENERADORES

Proporcionan energía eléctrica a partir de energía mecánica. En las industrias proporcionan energía complementaria, sirven también de respaldo para los procesos más críticos y para controlar los "picos" de demanda.



Tensiones Normalizadas de Generación

Tensión Preferente (Volts)	Tensiones Restringidas (Volts)
480	440
4160	
13 800	13 200
15 000	
20 000	



Representación
Gráfica de una
Unidad
Generadora

Código de Colores

Tensión

Color

De 44 000 a 13 200 Volts

Blanco

Menor de 13 200 Volts

Naranja

TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Elevan el voltaje de generación a un nivel económico para la transmisión.

En los centros de consumo, reducen la tensión a un valor adecuado, conforme a la potencia que se utiliza.



ING.JOSE JIMENEZ CRUZ I.T.MINATITLAN

LINEAS AÉREAS

Son un medio económico de transporte de energía cuando el espacio físico permite su instalación.



Tensiones Normalizadas

Tensión Preferente (Volts)	Designación Genérica	Color para Planos y Diagramas	Area que Atiende
400 000	Extra Alta Tensión (EAT)	Azul	Transmisión
230 000	Alta Tensión (AT)	Amarillo	
115 000		Morado Magenta	
69 000		Distribución	Blanco
34 500	Media Tensión (MT)		
23 000			
13 800			



Colores normalizados para pintura de equipos						
115 kV	85 kV	66 kV	34.5 kV	23 kV	13.8 kV	6.6 kV
Rojo Oxido	Azul Marino	Morado Magenta	Naranja	Blanco	Verde Bandera	Café

BARRAS COLECTORAS

conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común (nodo), de los diferentes circuitos que conectan una subestación.

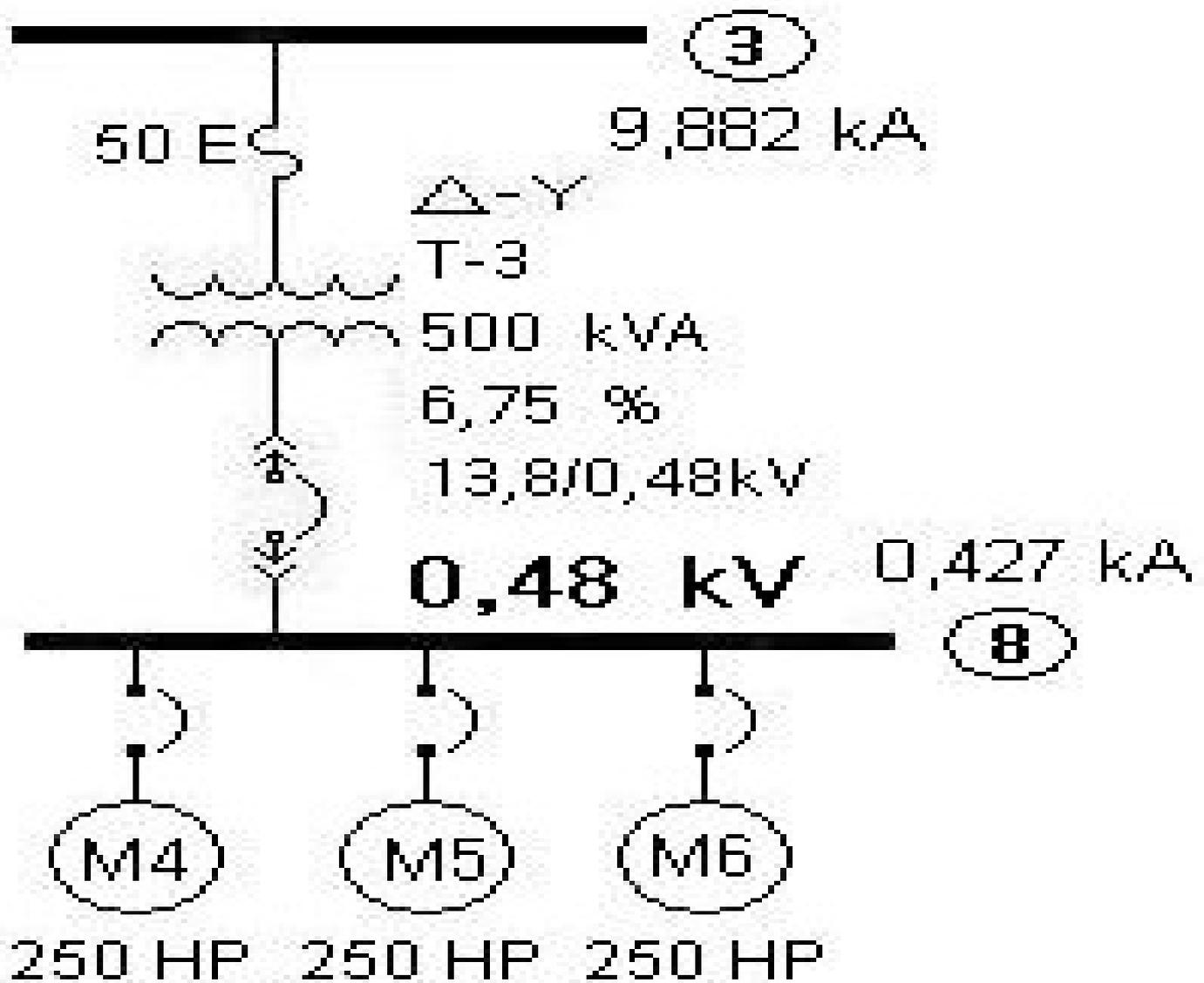
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Medios de protección y control de
componentes y dispositivos
eléctricos.

CIRCUITOS DE DISTRIBUCION

Básicamente un circuito eléctrico consta de lo siguiente:

- 1) Fuente de alimentación eléctrica**
- 2) Conductores**
- 3) Equipos de control (interruptores)**
- 4) Aparatos de consumo (cargas)**



FILOSOFÍA DE LAS PROTECCIONES

La función primordial de la protección es la de desconectar rápidamente cualquier elemento de un sistema eléctrico que sufra un corto circuito o que empiece a operar en una forma anormal que pudiera causar daño o interferir con la operación efectiva del resto del sistema.

Causas de fallas

- a) Falla de aislamiento debido a envejecimiento, calentamiento o corrosión.
- b) Falla de aislamiento en aire o elementos de aislamiento de equipo, debido a sobretensiones de origen interno o externo.
- c) Efecto de la humedad en el terreno y medio ambiente.
- d) Fallas mecánicas en las máquinas o líneas.
- e) Errores humanos en maniobras.
- f) Sobrecarga de equipo.
- g) Accidentes provocados por animales.

Efectos de las fallas

- **SOBRECARGAS**: Es una corriente superior a la nominal ,generalmente en el rango de 105 y hasta 200% de su corriente nominal, ocasionada por una condición anormal en alguna parte propio equipo o del sistema que se esta alimentando.
- **CORTOCIRCUITOS**: Son corrientes debidas a una falla del aislamiento en algún punto del sistema (entre fases y/o a tierra)generalmente son de valores altos en el punto de la falla, con magnitudes de 10 o mas veces la corriente nominal de operación.
- **CAIDA DE TENSION**: El bajo voltaje puede ser ocasionado por una mala regulación del sistema por un mal diseño de la instalación o por una condición de sobrecarga , la cual podría presentarse durante el arranque de motores grandes a tensión plena.
- **SOBREVOLTAJES**: Elevación del voltaje nominal a valores que puede dañar el aislamiento de los equipos.

FUNCIONES DE UN SISTEMA DE PROTECCION

1. Detectar fallas rápidamente en cualquier punto del sistema para aislarlas y minimizar sus efectos (térmicos y dinámicos) para evitar daños al personal y minimizar daños al equipo fallado así como las instalaciones adyacentes.
2. Mantener la mayor parte del sistema interconectado, de modo que solo la parte con falla sea aislada para mantener la continuidad y estabilidad del sistema.
3. Minimizar la posibilidad de que se produzca fuego.
4. Ser capaz de discriminar una condición normal (por ejemplo arranque de un motor, magnetización de un transformador) de una condición anormal para evitar disparos en falso, además debe ser confiable (operar cuando se requiera).
5. En sistemas de distribución aéreos, restablecer el sistema a su configuración original lo más rápido posible (mediante recierres).

DEFINICION DE RELEVADOR DE PROTECCION

SE DEFINE AL RELEVADOR DE PROTECCIÓN, COMO EL DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO, ESTÁTICO O MICROPROCESADO QUE HA SIDO DISEÑADO PARA DETECTAR, POR MEDIO DE TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS, CONDICIONES ANORMALES DE OPERACIÓN EN UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA Y OPERAR EN LIMITES PREAJUSTADOS PARA ELIMINAR ESTA CONDICIÓN.

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LA PROTECCIÓN

- 1. Sensibilidad**
- 2. Selectividad**
- 3. Velocidad**
- 4. Confiabilidad**
- 5. Simplicidad**
- 6. Economía.**

SENSIBILIDAD

Todos los equipos de protección deben ser lo suficientemente sensibles para que operen correctamente cuando se requiera para detectar los valores mínimos de falla vistos desde su punto de instalación.

SELECTIVIDAD

Los relés deben ser capaces de seleccionar entre las condiciones en que se requiere una operación rápida y otras en las que debe operar con retraso de tiempo.

Mantener la máxima continuidad de servicio desconectando solo la parte que presente la falla.

Velocidad

Mínimo tiempo de duración de la falla.
Velocidad de respuesta adecuada de acuerdo al tipo de falla.

CONFIABILIDAD

Es un

requerimiento básico que el equipo de protección sea confiable.

Debe funcionar correctamente cuando se necesita y evitar operaciones innecesarias.

SIMPLICIDAD

Es conveniente
tener el mínimo de equipos y de
conexiones entre ellos.

Economía

Lo que significa tener la
máxima protección al mínimo costo.

DEFINICIONES

Diagrama unifilar

Es aquel que muestra en forma sencilla mediante una sola línea las conexiones entre dispositivos, componentes, partes de un circuito eléctrico o de un sistema de circuitos, representados mediante símbolos.

Barras Colectoras

Es el conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común (nodo), de los diferentes circuitos que conectan una subestación.

Sección de Transformación

Es aquella sección que muestra en el diagrama unifilar las conexiones externas entre el arreglo de barras colectoras y los bancos de transformación.

Sección de Línea

Es aquella sección que muestra en el diagrama unifilar las conexiones externas entre el arreglo de barras colectoras y las llegadas ó salidas de circuitos electricos.

Líneas de Subtransmisión

Circuitos de conducción masiva de energía eléctrica a distancia que alimenta e interconecta las Subestaciones de distribución , los niveles de tensión utilizados en nuestro país son 138, 115, 85 y 69 kv.

Subestaciones de Distribución

Conjunto de equipos eléctricos necesarios para la conversión y seccionamiento de energía eléctrica recibida en bloque y distribuida en diferentes trayectorias a través de los circuitos de Distribución.

Circuitos de Media Tensión

Circuitos Eléctricos que parten de las Subestaciones de distribución y proporcionan la potencia eléctrica a los transformadores de distribución, los niveles de tensión utilizados en el país van desde 2.4 a 34.5kv.

Transformadores de Distribución

Equipo eléctrico que reduce la tensión de los circuitos de media tensión a la tensión de utilización de los usuarios.

Circuitos de baja tensión.

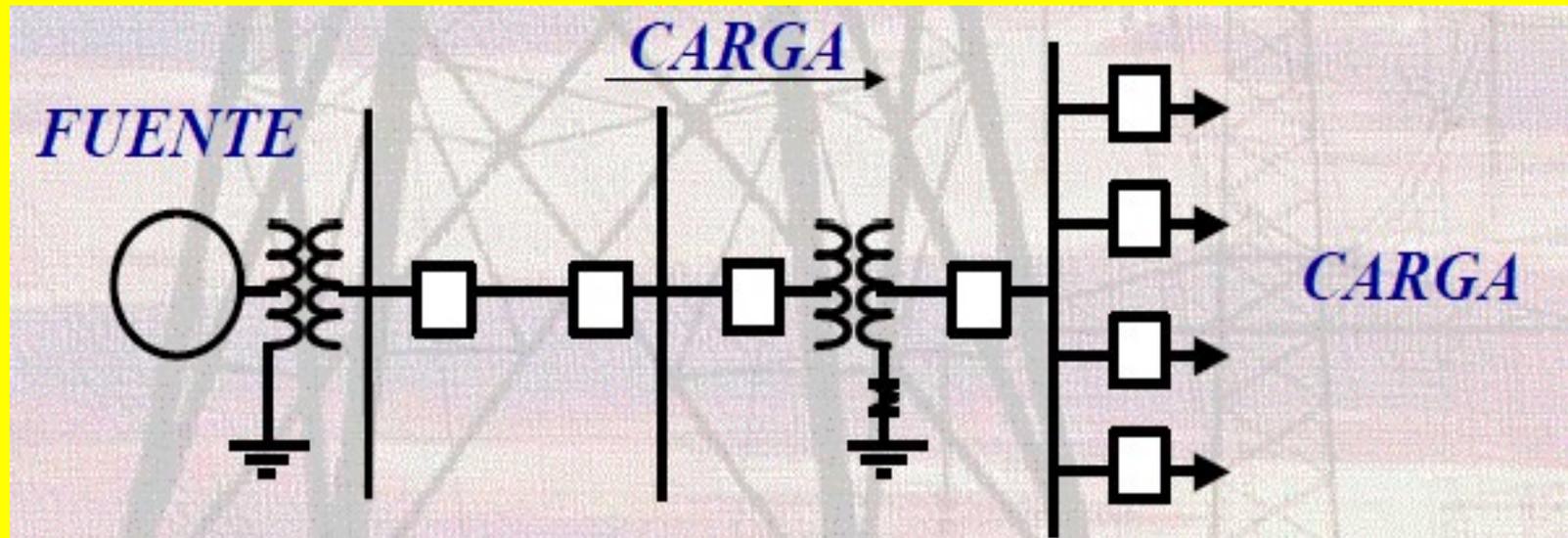
Circuitos que emanan de los transformadores de distribución y proporcionan el camino a la potencia eléctrica que será entregada a los usuarios.

Acometidas

Circuitos que interconectan al usuario con los sistemas de distribución.

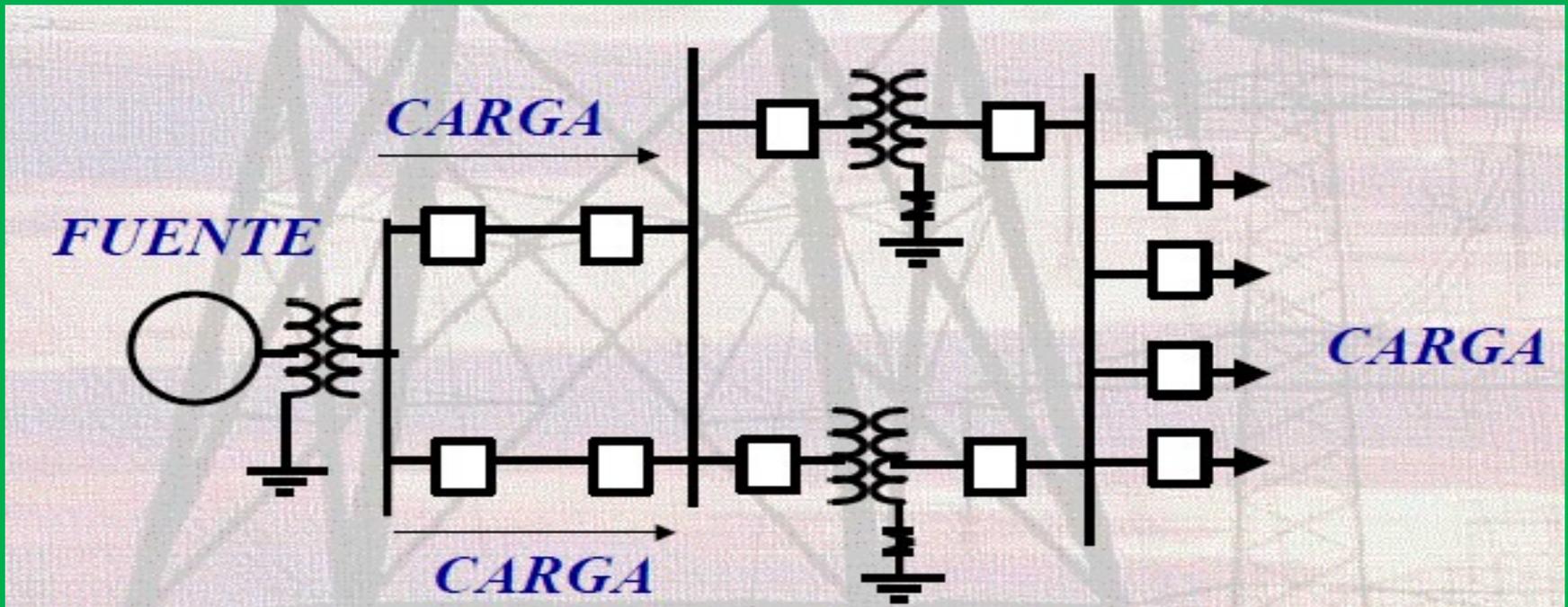
Sistema Radial.

Es el sistema que permite la transferencia de potencia entre la fuente y la carga por una sola trayectoria, siendo poco confiable ya que cualquier falla en uno de los puntos interrumpe la alimentación a la carga.



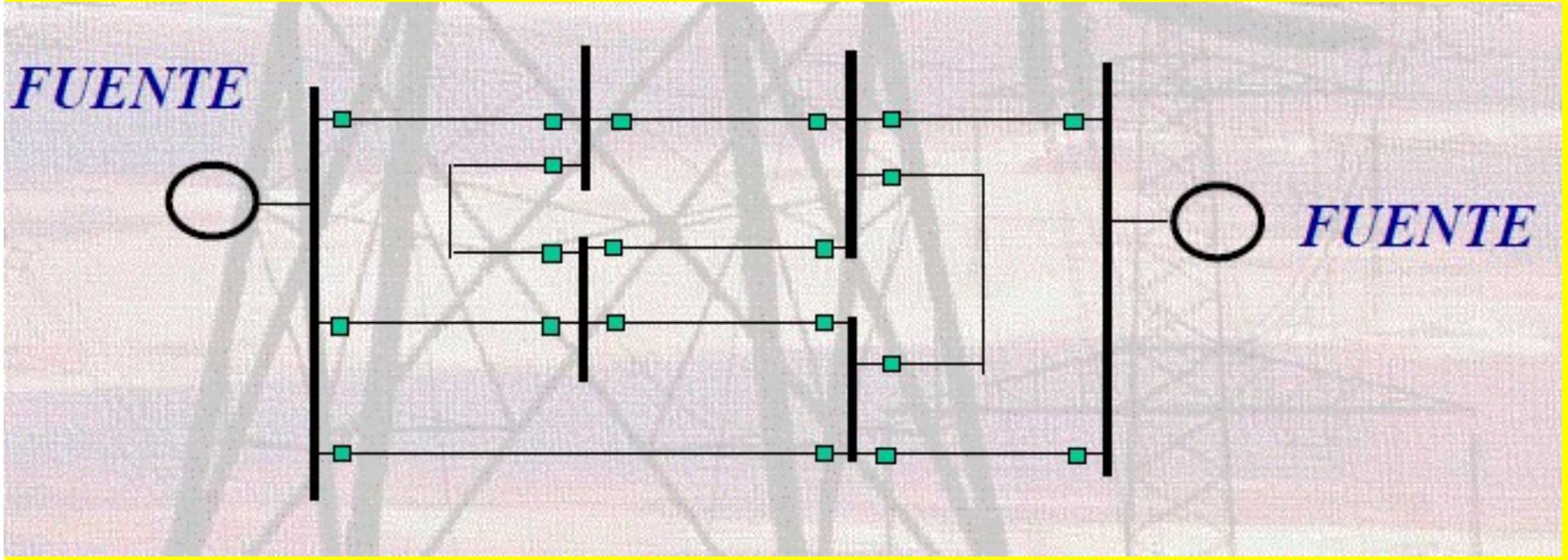
Sistema en Anillo

Es un sistema que permite la transferencia de potencia entre fuentes y cargas por dos trayectorias, este arreglo aumenta considerablemente la Confiabilidad del sistema.

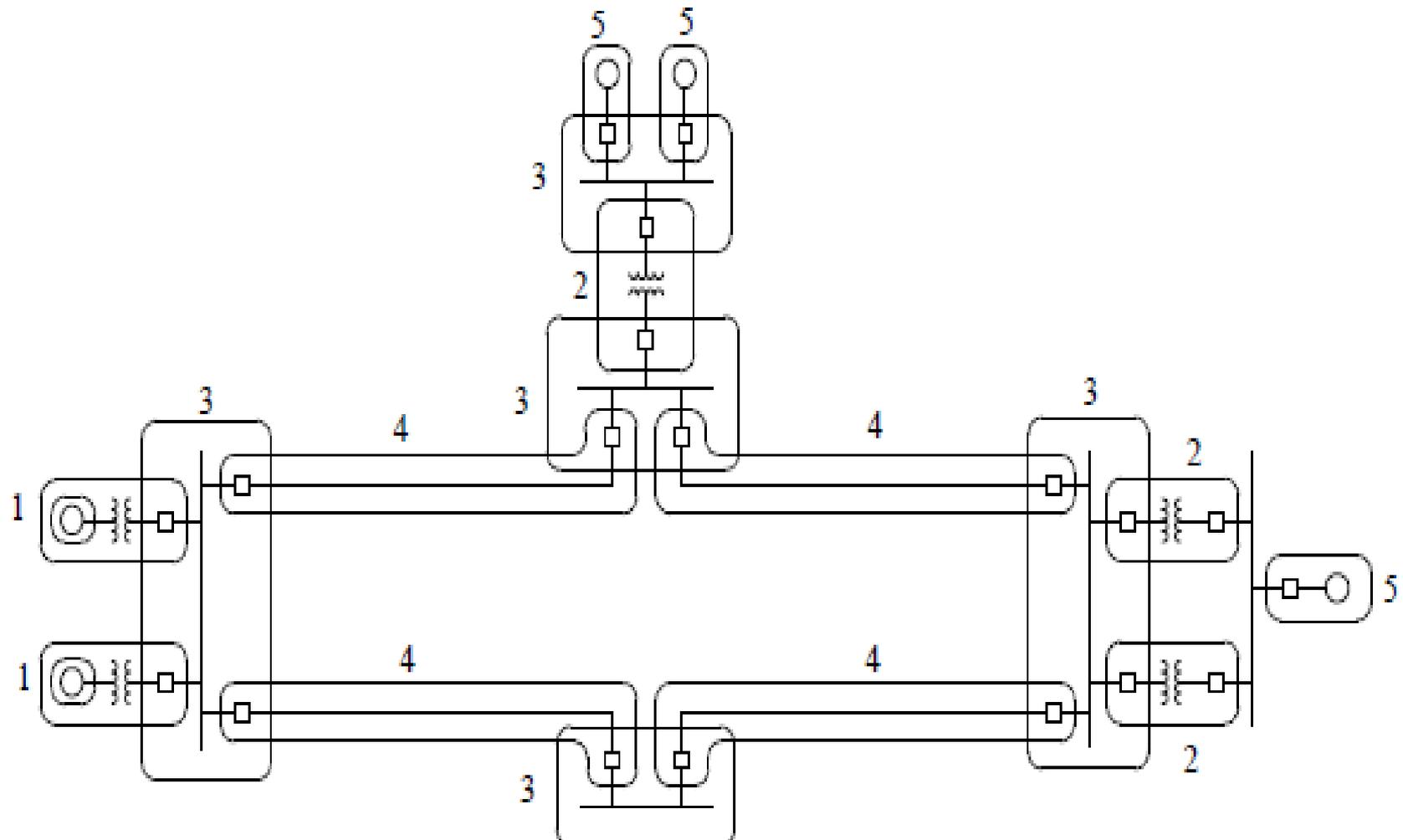


Sistema Mallado.

Es un sistema que permite la transferencia de potencia entre fuentes y cargas por múltiples trayectorias. Es el arreglo mas confiable y costoso.



ZONAS DE PROTECCION



ZONAS DE PROTECCION

1. Generadores
2. Transformadores
3. Barras
4. Líneas
5. Motores

Protección primaria

Opera para disparar el dispositivo de protección más cercano al componente fallado, haciendo posible que se desconecte únicamente el elemento con falla.

Protección de respaldo

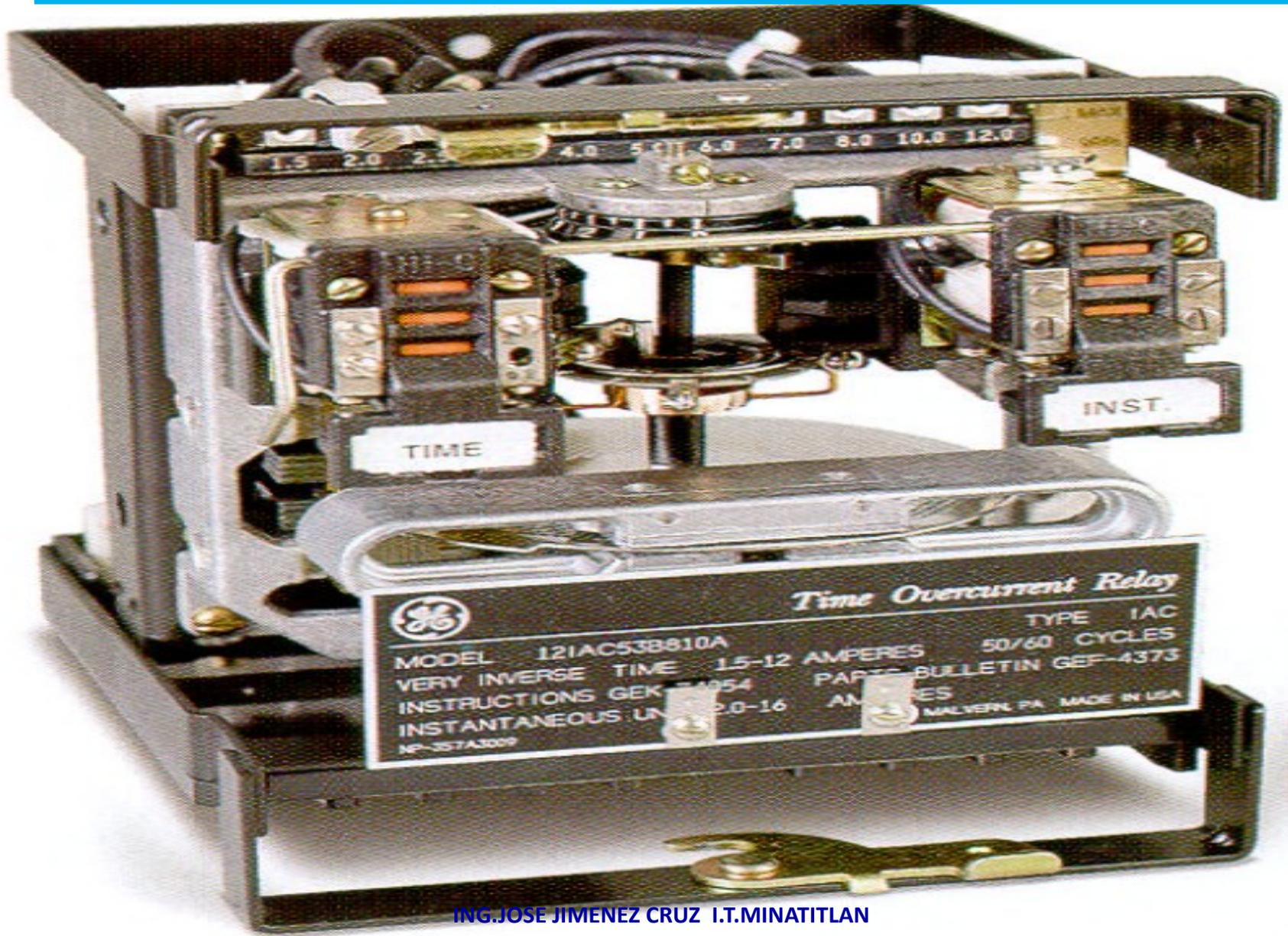
EL RESPALDO SE DEFINE COMO LA PROTECCION QUE OPERA INDEPENDIENTEMENTE DE UN COMPONENTE ESPECIFICO EN EL SISTEMA DE PROTECCION PRIMARIA, QUIZAS DUPLIQUE LA PROTECCION PRIMARIA O QUIZAS SOLO OPERE SI LA PROTECCION PRIMARIA FALLA O ESTA TEMPORALMENTE FUERA DE SERVICIO.

NUMEROS ANSI DE RELEVADORES MAS USUALES

No.	DESCRIPCIÓN
21	RELEVADOR DE DISTANCIA
25	RELEVADOR VERIFICADOR DE SINCRONISMO
26	DISPOSITIVO DE TEMPERATURA
27	RELEVADOR DE BAJO VOLTAJE
32	RELEVADOR DIRECCIONAL DE POTENCIA
37	RELEVADOR DE BAJA CORRIENTE
40	RELEVADOR DE PERDIDA DE EXCITACIÓN
41	INTERRUPTOR DE CAMPO
46	RELEVADOR DE DESBALANCE DE CORRIENTES
47	RELEVADOR DE DESBALANCE DE VOLTAJES
48	RELEVADOR DE SECUENCIA INCOMPLETA
49	RELEVADOR TERMICO
50	RELEVADOR INSTANTÁNEO DE SOBRECORRIENTE
51	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO
50N	RELEVADOR INSTANTÁNEO DE SOBRECORRIENTE A TIERRA
51N	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE A TIERRA DE TIEMPO
52	INTERRUPTOR DE POTENCIA

No.	DESCRIPCIÓN
55	RELEVADOR DE FACTOR DE POTENCIA
59	RELEVADOR DE SOBRETENSIÓN
63	RELEVADOR DE PRESIÓN
64	RELEVADOR DETECTOR DE FALLAS A TIERRA
65	GOBERNADOR
67	RELEVADOR DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE
67N	RELEVADOR DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE A TIERRA
76	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE C.D.
78	RELEVADOR DE PERDIDA DE SINCRONISMO
81	RELEVADOR DE FRECUENCIA
86	RELEVADOR DE BLOQUEO (AUX. DE DIFERENCIAL)
87	RELEVADOR DIFERENCIAL
90	DISPOSITIVO DE REGULACIÓN

RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE 50/51



PROTECCION DE MOTORES DE C.A.

COORDINACION DE PROTECCIONES

La finalidad de un estudio de coordinación de protecciones es para poder aislar del resto del sistema secciones con falla, mejorando la continuidad del servicio al restringir la falla a un sector mínimo del sistema. Nos ayuda también a determinar las características, capacidades y ajustes de los aparatos de protección; relación de transformadores de corriente, capacidad de características y ajustes de interruptores en bajo voltaje.

En resumen, una adecuada coordinación de protecciones debe dar protección satisfactoria al equipo e interrumpir un cortocircuito tan rápido como sea posible, aislando del sistema una sección mínima.

Antes de realizar un estudio de coordinación, es indispensable contar con un estudio de cortocircuito trifásico y de fase a tierra. Para el estudio de cortocircuito trifásico se ha adoptado el método recomendado por el libro rijo de la IEEE.

ELEMENTOS DE PROTECCION

Para hacer mínimos los efectos de una falla sobre el sistema, los elementos de protección deben tener selectividad en sus operación, tal que el mas próximo a la falla sobre el lado de la fuente debe operar primero (**proteccion primaria**) y si por cualquier motivo no lo hace el siguiente dispositivo sobre el lado de la fuente deberá operar o abrir su circuito(**proteccion de respaldo**).

El elemento de proteccion esta auxiliado en esta tarea por interruptores que son capaces de desconectar su circuito cuando un elemento de proteccion lo manda. Los interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente la máxima corriente de cortocircuito que puede fluir a través de ellos e interrumpirla sin dañarse, deben soportar también el cierre bajo cortocircuito. Una función secundaria de los relevadores de proteccion es indicar el sitio y el tipo de falla ayudando con esto a una reparación mas rápida.

LIMITES DE PROTECCION

1. Niveles de resistencia del equipo a las sobrecorrientes momentáneas.
 - a). **GENERADORES.** Según la norma Nema 1-22.45 sección 3 parte 22 un generador trifásico sincrónico debe ser capaz de soportar sin dañarse un cortocircuito trifásico durante 30 segundos en sus terminales cuando esta operando en sus KVA nominales en 5% de sobre voltaje con excitación fija.
 - b). **MOTORES.** Este nivel se llama el tiempo máximo permisible de paro, o sea el tiempo que puede continuar el motor operando con magnitudes de corriente a rotor bloqueado antes de que ocurra un daño, el tiempo normalmente se expresa en segundos.
 - c). **TRANSFORMADORES.** Este nivel es definido por la Norma ANSI y se llama Puntos ANSI. Identifica las exigencias de diseño para los devanados del transformador, de manera que puedan resistir sin daño alguno los esfuerzos mecánicos y térmicos ocasionados por un cortocircuito en sus terminales durante un periodo definido de tiempo.

CONDICIONES DE OPERACION

Aquí se definen las condiciones en que normalmente opera el equipo, siendo estas de vital importancia ya que los dispositivos de protección deben ser insensibles a estas condiciones para evitar disparos innecesarios.

a). **MOTORES.** La mínima calibración para un relevador que protege un motor debe estar arriba de la máxima corriente de arranque del motor de manera que el relevador no opere con esta.

Para trazar el perfil de arranque de los motores se seguirá el siguiente método:

Se supondrá que el motor toma desde el arranque hasta 0.1 segundos una corriente máxima de rotor bloqueado, la cual es originada por el efecto de magnetización y después de 10 segundos demanda la corriente de plena carga.

b). **Transformadores:** Cuando se energiza un transformador, toma una corriente muy elevada que se llama corriente de magnetización o INRUSH, la cual puede alcanzar valores de 8 a 25 veces la corriente nominal en transformadores tipo seco, para transformadores en aceite se utiliza un múltiplo que depende de la capacidad del transformador(TABLA --).

La capacidad de sobrecarga del transformador depende del tipo de enfriamiento que se le proporcione, también del factor de elevación de temperatura, en algunos casos es de 55°C o 55/65°C, entonces podemos definir lo siguiente:

Capacidad de transformador= I nominal x factor de enfriamiento x factor de elevación de temperatura.

REQUISITOS MINIMOS DE PROTECCION

a). **Motores:** Para motores hasta de 600 volts, el articulo 430 de la NOM-001-SEDE-2005 en sus partes C y D indica que se requiere proteccion contra sobrecarga y sobrecorriente, para motor arriba de 600 volts en la parte J establece que cada motor debe ser protegido contra sobrecargas peligrosas y fallas en el arranque del motor por medio de un dispositivo térmico sensible a la corriente.

Según el articulo 430-32 de la NOM establece que para motores de trabajo continuo mayores a 1 HP debe tener un dispositivo de sobrecarga que dispare en no mas de los siguientes porcentajes de la corriente de placa del motor(Tabla---).

b). **Transformadores:** De acuerdo con la NOM en su articulo 450 exige consideraciones para las capacidades de ajuste de los elementos de proteccion contra sobrecorriente nominal(Tabla---).

c). **Cables:** Para la proteccion por sobrecarga en cables de 600 volts o menos se deben considerar las especificaciones dadas, o sea , protegerlos dentro de su ampacidad.

Para cables arriba de 600 v, la proteccion por sobrecorriente, según el articulo 240-100 de la NOM deben ser la siguiente si se usa:

Fusible----- No mas de 300% de la ampacidad del cable

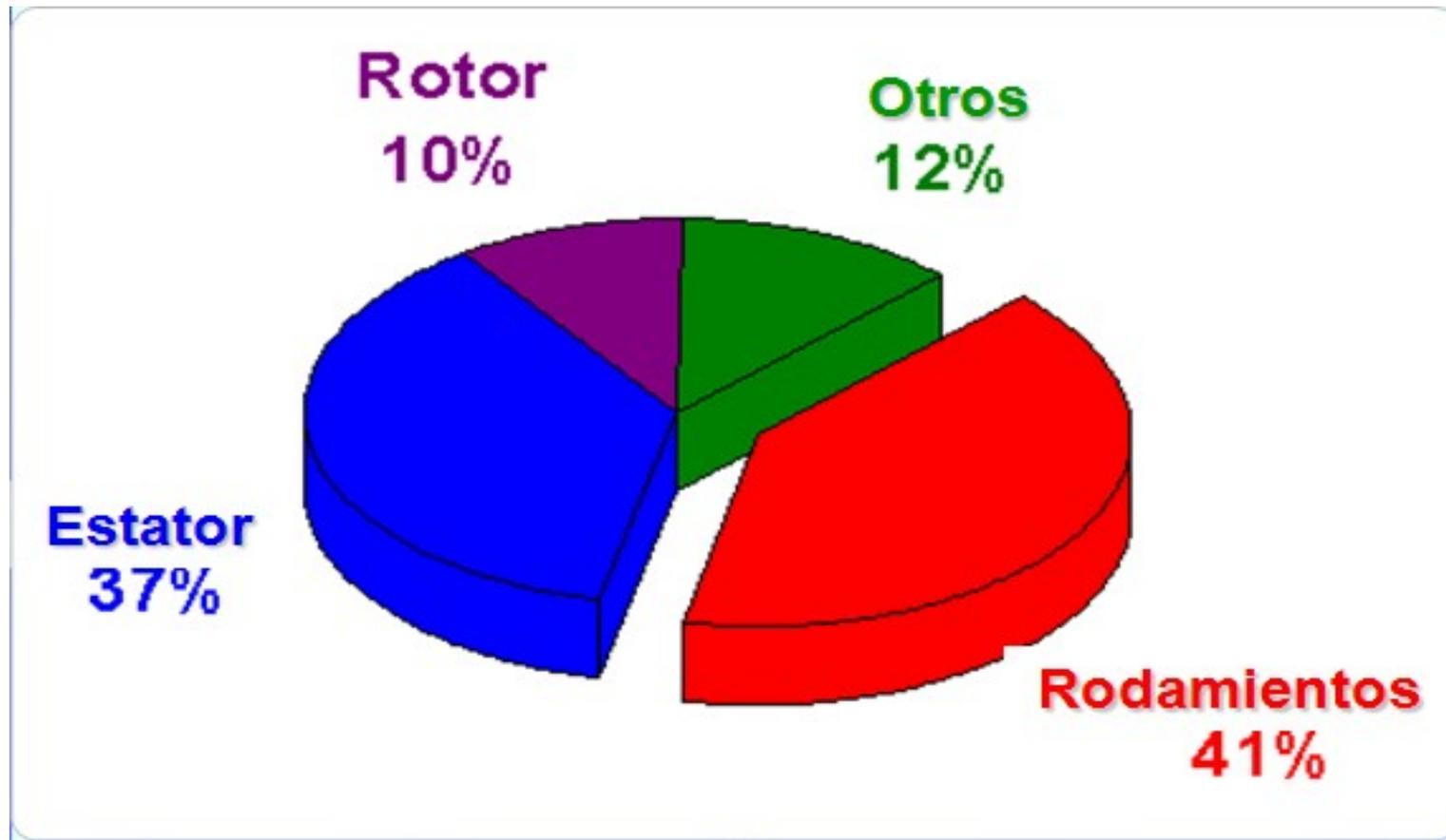
Interruptores ----- No mas del 600% de la ampacidad del cable

MOTORES ELECTRICOS DE MEDIA TENSION



ING. JOSE JIMENEZ CRUZ I.T. MINATITLAN

RESUMEN DE FALLAS DE MOTORES



PROTECCION DE MOTORES DE C.A.

Se presenta a continuación los aspectos referentes a la protección contra **sobrecarga** y **corto circuito** para motores, circuitos derivados para motores, sus alimentadores, equipos de control y protección y centros de control de motores; centrándose la discusión en los motores de corriente alterna, dado que los motores de corriente continua son de poca aplicación en la industria.

El grado de complejidad de los esquemas de protección de equipo eléctrico depende de dos factores principales:

1.-Costo del equipo, éste a su vez, relacionado directamente con la capacidad ó potencia nominal del equipo.

2.-Importancia del equipo en cuanto a la continuidad del servicio.

Los esquemas recomendados de protección de motores se agrupan de acuerdo a las siguientes tres categorías:

A. Motores con capacidad menor a 1500 hp.

B. Motores de 1500 hp y mayores.

C. Protección adicional para motores síncronos.

Las funciones del esquema de protección pueden subdividirse en los siguientes grupos:

1. Protección térmica:

Sobrecarga

Rotor bloqueado

2. Fallas de cortocircuito:

Trifásica

Línea a línea

Fase a tierra

Dos fases a tierra

3. Condiciones anormales de operación:

Bajo voltaje

Desbalance

Fases invertidas

Pérdida de excitación

Pérdida de sincronismo

Recierre de alta velocidad

Arranques repetitivos

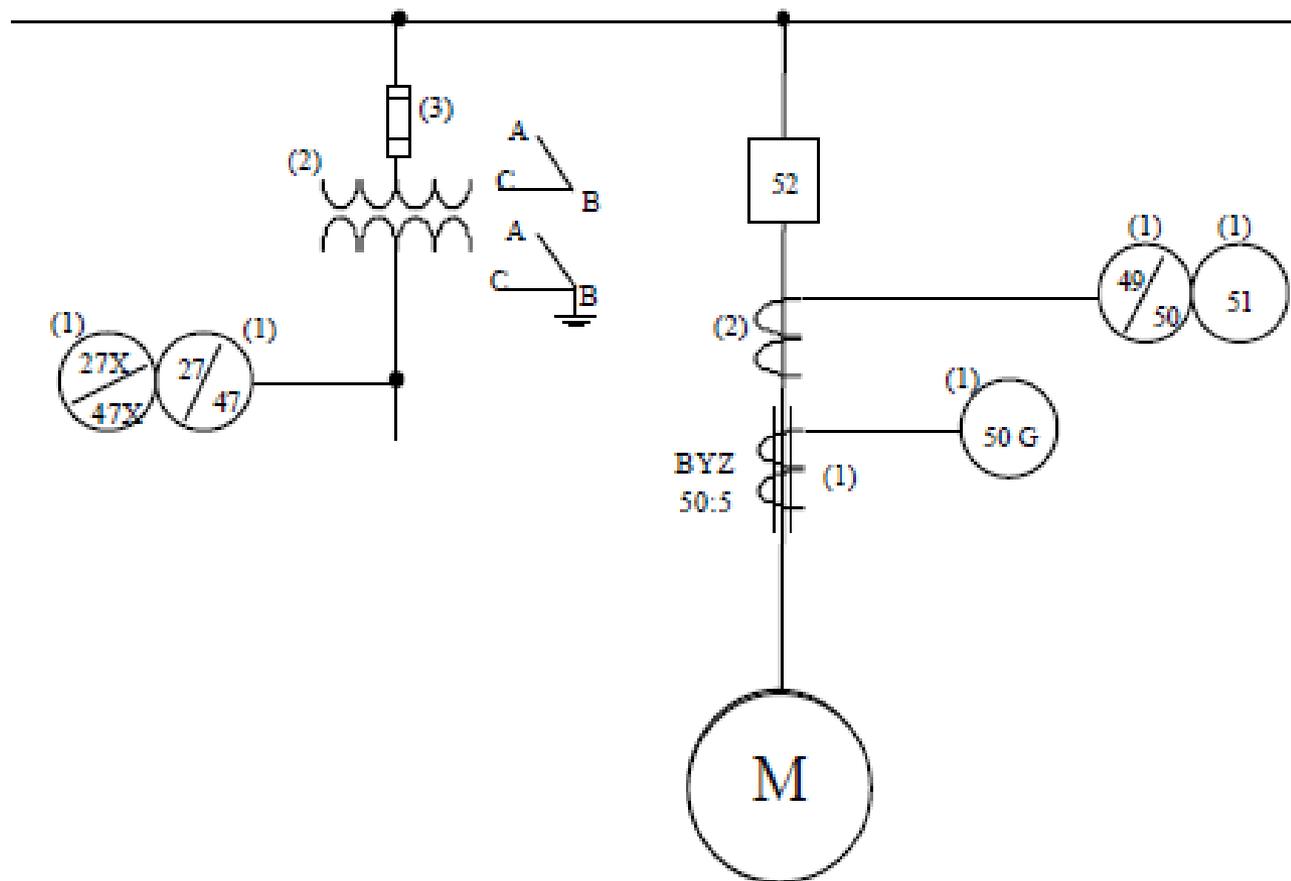
A. Motores de capacidad menor a 1500 hp (Figura 1)

1. La protección térmica contra **sobrecarga se provee mediante dos unidades iguales localizadas en fases distintas, basado en el hecho de que las sobrecargas desbalanceadas raramente se presentan en los equipos, se emplean elementos bimetálicos ó relevadores **49** ó **50** alimentados desde transformadores de corriente, los cuales brindan una réplica muy cercana al comportamiento térmico del motor.**

2. La protección contra corto circuito se brinda a través de tres elementos de sobrecorriente instantáneos del tipo **50**, dos de ellos para la detección de fallas entre fases y el tercero (**50G**) para detección de fallas a tierra.

3. Las condiciones anormales de operación tales como bajo voltaje, desbalance de voltaje y energización con fases invertidas (verificación de secuencia de fases), se detectan mediante relevadores del tipo **27 y 47**. Comúnmente se utiliza un relevador auxiliar **27X/47X** para multiplicar los contactos. Los arranques repetidos en periodos cortos de tiempo pueden desarrollar altas temperaturas en el estator, esta condición puede ser prevenida mediante el uso de relevadores de tiempo insertados en el esquema de arranque y/o control del motor.

Una interrupción momentánea de la alimentación a un motor de gran capacidad puede causar pares dañinos a la flecha y esfuerzos a los devanados en el instante en que el voltaje se recupera. Esto suele ocurrir cuando la línea de suministro (acometida) del sistema tiene protección a base de restauradores y/o seccionalizadores. Si la presencia del recierre instantáneo (**12-20 ciclos**) es vital para la planta, se recomienda disparar instantáneamente el interruptor principal de la planta y retardar el recierre automático hasta que el voltaje en la planta haya decaído al menos **25%** de su valor nominal.



NOTA.- Los TC's se seleccionan al 150% de la corriente de plena carga.

Cuando no se utiliza protección contra sobrecarga con relevadores se debe utilizar protección monofásica de elementos bimetálicos.

Los TC's marcados con BYZ, son del tipo dona.

Figura 1 Esquema de protección recomendado para motores menores de 1500 H.P.

B. Motores de 1500 hp y mayores (Figura 2)

1. La protección térmica se suministra a través de relevadores de *imagen térmica*, este tipo de relevadores *censan* tanto la corriente del estator como la del rotor, utilizando resistencias de detección térmica alimentados mediante transformadores de corriente.

La protección contra rotor bloqueado puede suministrarse mediante un relevador de sobrecorriente de tiempo inverso del tipo **51**, sólo si el tiempo de atascamiento (rotor bloqueado) excede el tiempo de arranque (aceleración) para la unidad. Si tiempo de arranque excede el tiempo de atascamiento se deberá utilizar una

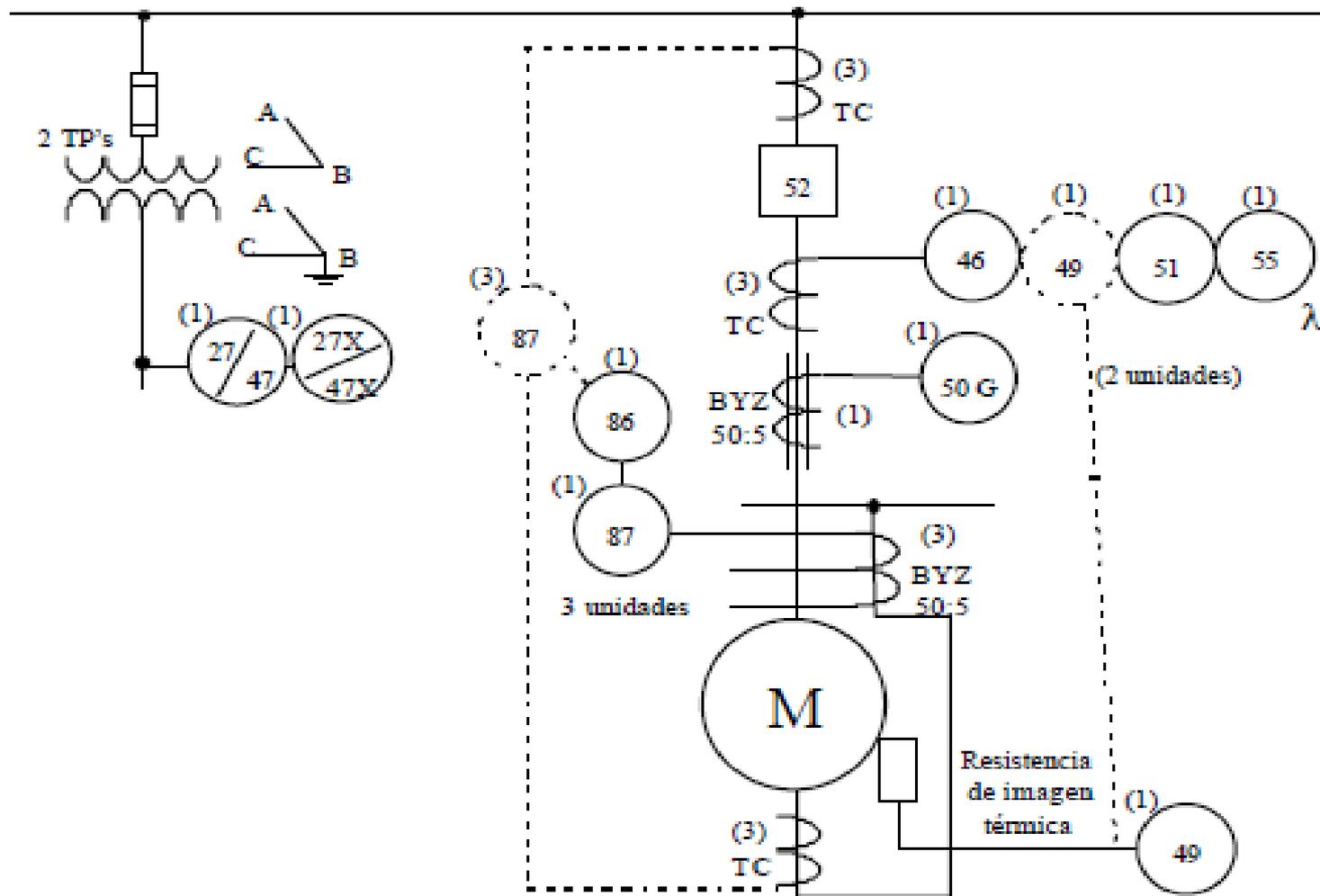
protección combinada de un interruptor de velocidad cero y un relevador de retardo de tiempo

2. La protección primaria contra corto circuito se establece mediante la protección diferencial (**87**) a través de dos esquemas alternativos. La protección diferencial preferida debido a su alta sensibilidad y bajo costo consiste de tres relevadores instantáneos alimentados desde tres transformadores de corriente conectados en conexión residual a las terminales del motor. El esquema alternativo utiliza un total de seis transformadores de corriente y tres relevadores diferenciales, este método depende mas de la clase de precisión de los TC's (determinada en función de la corriente a plena carga del motor), y es considerablemente menor su sensibilidad a la falla, como ventaja presenta que el circuito de alimentación del motor puede ser incluido en la zona de disparo diferencial.

Cuando se utiliza el primer esquema diferencial, para proteger adecuadamente el cable de alimentación es necesario utilizar dos elementos instantáneos de fase y uno a tierra (**50 y 50G** respectivamente), estos elementos también se recomiendan para el otro tipo de esquema como protección de respaldo.

3. Una condición anormal de operación de desbalanceo de corrientes en el circuito del motor se detecta mediante un relevador de balance de corriente (**46**). Como protección contra alimentación de fase invertida se utiliza un relevador **27/47** (bajo voltaje, secuencia de fases y desbalanceo de voltajes).

Nota: si se conectan al bus otros motores que no están protegidos con relevador **46**, entonces debe usarse un relevador de voltaje de secuencia negativa en lugar del **27/47**. El relevador auxiliar **27X/47X** suministra contactos adicionales de disparo. Los arranques repetitivos en intervalos cortos de tiempo pueden desarrollar altas temperaturas en el estator, esta condición puede prevenirse mediante el empleo de un relevador de tiempo en el esquema de control. Una interrupción momentánea del suministro de energía a un motor de gran capacidad puede causar pares dañinos a la flecha y esfuerzos a los devanados en el instante en el que el suministro se reestablece. Las condiciones de protección son las mismas que las descritas en el punto 3 para motores de capacidad inferior a 1500 hp.



NOTA.- λ Aplicado para motores sincros sin escobillas.
 Los TC's se seleccionan al 150% de la corriente de plena carga.

Figura 2 Esquema de protección recomendado para motores de 1500 H.P. y mayores.

C. Motores síncronos.

En complemento a los esquemas de protección indicados en las figuras 1 y 2, el motor síncrono requiere protección a su circuito de campo. Para una máquina convencional, estos dispositivos incluirán los siguientes relevadores:

- * Relevador de temperatura del devanado de excitación (26)
- * Relevador de campo de excitación (56)
- * Relevador de pérdida de campo (40)
- * Relevador de secuencia incompleta (48)

Para una máquina de escobillas, se emplea un relevador de factor de potencia (55) para cubrir las funciones de control y pérdida de campo. La protección de temperatura del campo se suministra a través de un relevador de sobrecorriente de tiempo inverso (51).

PROTECCIÓN DE MOTORES DE C A
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES POR NÚMERO CÓDIGO

No. Disp. ANSI	FUNCIÓN	RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS.
27/47	Bajo voltaje, secuencia de fases y desbalanceo de voltaje.	Bajo Voltaje: Ajustar por encima del valor de caída de voltaje al arranque.
27/47	Bajo voltaje, secuencia de fases y desbalanceo de voltaje.	Bajo voltaje: Permite la CVA. Alto Voltaje: Ajustar al 90% del voltaje de suministro.
27x/47x	Contactos auxiliares.	Sin ajuste. Utilizado en buses multimotores.
46	Corriente desbalanceada.	Utilice el tap de 2 amp, si la corriente a plena carga del motor es menor a 3 amp; utilice el tap de 1 amp. Ajuste los contactos estacionarios a las marcas correspondientes.
49	Sobrecarga de imagen térmica.	Aísle de tierra las resistencias de imagen térmica.
49	Sobrecarga por temperatura.	Ajuste para una temperatura de operación segura del motor.
49/50	Sobrecarga.	Dos unidades de protección en fase. Ajuste a plena carga con un factor de servicio de 1.15 y a un 90% de carga, un factor de 1.0.
50	Falla entre fases.	Ajuste a 2 veces la corriente de arranque. Se puede omitir cuando se usa un relevador 87.
50G	Falla a tierra.	Ajuste a 0.25 A. Use un TC tipo dona con relación 50:5.
51	Rotor bloqueado.	Úsese cuando el tiempo de arranque sea mayor a 30 seg. Ajuste a la mitad de la corriente de arranque. Ajuste el dial para que permita el arranque.

51	Rotor bloqueado.	Úsese cuando el tiempo de arranque sea menor a 30 seg. Ajuste a la mitad de la corriente de arranque. Ajuste el dial para que permita el arranque.
	Control de excitación por medio	Ajuste a 20 watts, con dial 2. Use un relevador trifásico con máximo par cuando el ángulo entre I y V sea de 30°. Conecte el relevador con I_A y V_{BA} , operando cuando I_A se atrase más de 30°.
55	del fp (Sólo para motores síncronos).	
86	Bloqueo.	Sin ajuste.
87	Diferencial.	Tres unidades con 3 TC's tipo dona con relación 50:5. Ajuste a 0.25A.
87	Diferencial	Ajuste el dial a 1.

Protección contra sobrecarga del motor y sus circuitos derivados.

La protección mínima con que debe contar un motor es contra **sobrecarga y **corto circuito**, no obstante ambas se manifiestan como sobre corriente, su tratamiento en cuanto a equipo y ajuste son muy distintas.**

La sobrecarga en un motor origina una sobre corriente que de extenderse por un tiempo prolongado puede dañar ó calentar peligrosamente

Las curvas de las características tiempo-corriente de los motores están constituidas por las siguientes partes:

- a). **Corriente de magnetización**
- b). **Corriente a rotor bloqueado**
- c). Tiempo de aceleración
- d). Tiempo de atascamiento máximo permitido
- e). **Corriente a plena carga**

a). **Corriente de magnetización:** Consiste de la corriente que circula a través de los devanados del estator del motor cuando este es inicialmente energizado considerando para esta corriente un valor aproximado de **1.76** veces la corriente a rotor bloqueado para motores en medio y alto voltaje y de **1.5** veces para los de bajo voltaje, con una duración de 0.1 segundos.

b). **Corriente a rotor bloqueado:** Es la corriente del motor a velocidad cero (rotor bloqueado), si su valor no se conoce la letra de código (NEMA) de placa puede utilizarse para determinarlo (**Tabla 1**).

c). Tiempo de aceleración: Designa el tiempo de transición entre la corriente de arranque y la de plena carga del motor depende de : La capacidad nominal(HP), Par de arranque y la inercia de la carga.

d). Tiempo de atascamiento máximo permitido: El tiempo de atascamiento del roto en un motor representa un punto de la curva límite de calentamiento definido por t a corriente de rotor bloqueado. Este valor generalmente es proporcionado por el fabricante del motor.

e). **Corriente de plena carga:** Corresponde al valor de la corriente que demanda el motor en condiciones de voltaje, potencia y frecuencia nominales. Este dato normalmente aparece indicado en la placa del motor, en caso de que no se conozca, puede utilizarse datos típicos proporcionados por tablas de fabricantes.

La protección contra sobre corriente deberá tener un ajuste en tiempo suficiente para permitir que circule la corriente de arranque del motor, de tal manera que opere la protección en caso de que se alcance el tiempo de atascamiento máximo permitido al rotor.

Los máximos ajustes permitidos a los dispositivos contra sobrecarga son los indicados en la **tabla 2**, donde se indica el porcentaje de ajuste en función de la corriente a plena carga del motor.

TABLA 1: Letras de código a rotor bloqueado de motores (Se aplica a motores de alta y baja tensión)

Letra de código	kVA por kW a rotor bloqueado	KVA por CP a rotor bloqueado
A	0,00 – 2,34	0,00 – 3,14
B	2,35 – 2,64	3,15 – 3,54
C	2,65 – 2,98	3,55 – 3,99
D	2,99 – 3,35	4,00 – 4,49
E	3,36 – 3,72	4,50 – 4,99
F	3,73 – 4,17	5,00 – 5,59
G	4,18 – 4,69	5,60 – 6,29
H	4,70 – 5,29	6,30 – 7,09
J	5,30 – 5,96	7,10 – 7,99
K	5,97 – 6,70	8,00 – 8,99
L	6,71 – 7,45	9,00 – 9,99
M	7,46 – 8,35	10,00 – 11,19
N	8,35 – 9,31	11,20 – 12,49
P	9,32 – 10,43	12,50 – 13,99
R	10,44 – 11,93	14,00 – 15,99
S	11,94 – 13,42	16,00 – 17,99
T	13,43 – 14,91	18,00 – 19,99
U	14,92 – 16,70	20,00 – 22,39
V	16,71 – y más	22,40 – y más

La letra de código se emplea para calcular la corriente de arranque del motor y también para ver el máximo ajuste del dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra.

I arranque R.B. =

TABLA 2: Ajustes máximos del relevador de sobrecarga para motores de servicio continuo menos de 600 volts y más de 1 H.P.(Art. 430-32).

Motores con F.S. de 1.15 o más -----	125% I nom
Motores con elevación de temperatura no mayor a 40°C----	125% I nom
Todos los otros -----	115% I nom

EXCEPCION: Si el relevador seleccionado de acuerdo a lo anterior es insuficiente para permitir el arranque del motor o para llevar la corriente de carga, se deberá usar el tamaño del relevador siguiente siempre y cuando no exceda los siguientes límites (Art. 430-34).

Donde:

FS es el factor de servicio.

T es la elevación de la temperatura en °C.

*** Valores máximos sólo si se tienen problemas al arranque.**

TABLA 3: Valor nominal máximo o ajuste para el dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra del circuito derivado del motor (Art.430-152)

Por ciento de la corriente eléctrica a plena carga				
Tipo de motor	Fusible sin retardo de tiempo**	Fusible de dos elementos** (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso*
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores de CA, polifásicos, que no sean de rotor devanado.				
Jaula de ardilla	300	175	800	250
Otros que no sean diseño E	300	175	1 100	250
Diseño E				
Motores síncronos +	300	175	800	250
Rotor devanado	150	150	800	250
c.c. (tensión eléctrica constante)	150	150	250	150

Para ciertas excepciones a los valores especificados, véase 430-52 hasta 430-54.

* Los valores dados en la última columna comprenden también las capacidades de los tipos no ajustables de tiempo inverso, los cuales pueden modificarse como se indica en 430-52.

** Los valores en la columna para fusible sin retardo de tiempo aplican para fusibles Clase CC con retardo de tiempo.

+ Los motores síncronos de bajo par de arranque y baja velocidad (comúnmente 450 RPM o menos), como son los empleados para accionar compresores recíprocos, bombas, etc., que arrancan en vacío, no requieren una capacidad de fusible o un ajuste mayor que 200% de la corriente eléctrica a plena carga.

DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

FUSIBLES: Generalmente se utilizan para protección de transformadores y motores en media tensión.

PROTECCION DE MOTORES: Al utilizarse como protección de motores ,normalmente se usan en conjunto con dispositivos de protección contra sobrecarga para proporcionar protección contra cortocircuito y para interrumpir niveles de corriente mayores a los nominales del interruptor o contactor asociado. Es necesario que la curva de operación del fusible permita el arranque del motor.

INTERRUPTORES DE BAJO VOLTAJE: Deberán permitir el arranque del motor sin sobrepasar los ajustes recomendados por la NOM y operar antes de alcanzar el tiempo máximo permitido de atascamiento del rotor.

RELEVADORES: Deberán permitir el arranque del motor sin sobrepasar los ajustes recomendados por la NOM y operar antes de alcanzar el tiempo máximo permitido de atascamiento del rotor.

LÍMITES DE DAÑO DE UN MOTOR:

SOBRECARGA.- LOS FABRICANTES DE MOTORES CASI NUNCA PROPORCIONAN LOS LÍMITES DE DAÑO POR SOBRECARGA DEL MOTOR. EXISTE UNA CURVA DE DAÑO QUE SE TOMA COMO REFERENCIA DE LAS NORMAS ANSI (ANSI-IEEE-620).

ROTOR BLOQUEADO Y TIEMPO DE ATASCAMIENTO.- LOS FABRICANTES DE MOTORES TAMPOCO DAN EL TIEMPO QUE PUEDE SOPORTAR SU MOTOR EN CONDICION DE ROTOR BLOQUEADO SIN GIRAR (ATASCAMIENTO), PERO SE PUEDEN CONSIDERAR LOS SIGUIENTES TIEMPOS:

MOTORES DE BAJA TENSIÓN:	15 A 20 SEGUNDOS
MOTORES DE MEDIA TENSIÓN:	8 A 12 SEGUNDOS
MOTORES SINCRONOS:	4 A 6 SEGUNDOS

REQUERIMIENTOS DE PROTECCIÓN

TODO MOTOR ELÉCTRICO DE MEDIA TENSIÓN DEBE SER PROTEGIDO POR LO MENOS CONTRA CORTOCIRCUITO Y SOBRECARGA, PUDIENDO CONSIDERAR ADEMÁS PROTECCIÓN CONTRA ALGUNO DE LOS SIGUIENTES PELIGROS.

- FALLAS A TIERRA EN EL ESTATOR O CIRCUITO ALIMENTADOR.
- TIEMPO EXCESIVO DE ARRANQUE
- DISMINUCIÓN O PÉRDIDA DEL VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN
- SECUENCIA DE FASE INVERSA Y/O DESBALANCE DE VOLTAJES.
- DESBALANCE DE CORRIENTES DE FASE
- OPERACIÓN FUERA DE SINCRONISMO DE UN MOTOR SÍNCRONO
- PÉRDIDA DE EXCITACIÓN DE UN MOTOR SINCRONO
- “ ATASCAMIENTO DEL MOTOR” (JAMMING)
- NUMERO DE ARRANQUES POR HORA
- PÉRDIDA DE CARGA (POR EJEMPLO POR CAVITACIÓN DE UNA BOMBA)
- ALTA TEMPERATURA O VIBRACIÓN EXCESIVA EN RODAMIENTOS O CHUMACERAS.

PROTECCIONES RECOMENDADAS

PARA MOTORES DE HASTA 1500 HP

- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO (FUSIBLE O 50/51)
- PROTECCIÓN TÉRMICA (CONTRA SOBRECARGAS) (49)
- PROT' N DE FALLA A TIERRA (CON TC DE SECUENCIA CERO) (51N)

PROTECCIONES ADICIONALES DEPENDIENDO DE LA CRITICIDAD DEL EQUIPO Y CARGA MANEJADA.

- PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTES DESBALANCEADAS (46)
- ROTOR BLOQUEADO (51)
- ARRANQUES POR HORA
- BAJA CORRIENTE (37)
- BAJO VOLTAJE EN EL BUS

PARA MOTORES MAYORES DE 1500 HP

- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO (FUSIBLE O 50/51)
- PROTECCIÓN TERMICA (CONTRA SOBRECARGAS) (49)
- PROT' N DE FALLA A TIERRA (CON TC DE SECUENCIA CERO) (51N)
- PROTECCION DIFERENCIAL (87)
- PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTES DESBALANCEADAS (46)

PROTECCIONES ADICIONALES DEPENDIENDO DE LA CRITICIDAD DEL EQUIPO Y CARGA MANEJADA.

- PROTECCIÓN CONTRA ROTOR BLOQUEADO (51)
- ARRANQUES POR HORA
- BAJA CORRIENTE (37)
- PROTECCIÓN CONTRA ALTA TEMPERATURA EN CHUMACERAS (38)
- BAJO VOLTAJE EN EL BUS (27)

EJERCICIO: ELABORAR EL UNIFILAR DE LAS PROTECCIONES PARA UN MOTOR MAYOR DE 1500 HP.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN MULTIFUNCIÓN PARA MOTOR

GENERALMENTE CUENTAN CON UNA AMPLIA GAMA DE PROTECCIONES ENTRE LAS CUALES PODEMOS SELECCIONAR:

- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO (50/51)
- PROTECCIÓN TERMICA (CONTRA SOBRECARGAS) (49)
- PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA (51N)
- PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTES DESBALANCEADAS (46)
- PROTECCIÓN CONTRA ROTOR BLOQUEADO (51)
- TIEMPO EXCESIVO DE ARRANQUE
- ATASCAMIENTO DEL MOTOR (JAMMING)
- NUMERO DE ARRANQUES POR HORA
- BAJA CORRIENTE (38)
- SECUENCIA INCOMPLETA (48)
- PROTECCIÓN CONTRA ALTA TEMPERATURA EN CHUMACERAS (38)

AJUSTES TÍPICOS

PROTECCIÓN CONTRA	DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	AJUSTE TÍPICO
CORTOCIRCUITO	FUSIBLE	>1.3 I nominal, y curva que permita 1.1 veces la corriente de arranque durante 10 segundos
	RELE 50	2 Veces la corriente de arranque (solo utilizar cuando se emplea un interruptor de potencia en lugar de contactor)
	DIFERENCIAL	Pendiente máxima de 25%, sin retardo de tiempo
SOBRECARGA	TÉRMICO	Ajuste depende del tipo de relevador. Si se selecciona en base a la corriente, mínimo debe ser la corriente nominal y máximo 125% de la nominal.
FALLAS A TIERRA	50/51N	Con TCs en conexión residual, Pick Up de 10 a 20% de la máxima falla a tierra del sistema, con un retardo de 0.1 seg. Si se cuenta con sensor de secuencia cero (TC tipo dona), se puede dejar un ajuste instantáneo.
DESBALANCE DE CORRIENTES	46	Depende del tipo de relevador. Pick Up máximo de 15% de desbalance, o su equivalente en secuencia negativa
ROTOR BLOQUEADO	51	Pick Up de 40 a 50% de la corriente de rotor bloqueado y tiempo ajustado con dos segundos más del tiempo normal de arranque del motor (ajuste típico 8 a 10 segundos)

PERDIDA DE CARGA	37	Cuando se utiliza, ajustarlo entre 50 y 60% de la corriente nominal, con un retardo de entre 5 y 20 segundos.
ATASCAMIENTO EN OPERACIÓN (JAM)		Ajuste típico, 180% de la corriente nominal con un tiempo de 12 a 15 segundos.
BAJA TENSIÓN	27	Cuando se utiliza, ajustarlo al 80% del voltaje nominal, con un retardo de 3 segundos.
NUMERO DE ARRANQUE POR HORA		Depende de la información de fabricante del motor. Si no se cuenta con información, se pueden permitir hasta 3 arranques por hora, con un tiempo entre arranques de 20 minutos

Problema: Dibujar la curva de perfil de arranque de un motor de inducción jaula de ardilla de las siguientes características:

HP= 350

V=4,160

$I_n=44.5 \text{ A}$, $10 \text{ seg} < t < 1000 \text{ seg}$

$I_{\text{arranque}}=6I_n=267 \text{ A}$, $0.1 \text{ seg} < t < 10 \text{ seg}$

$I_{\text{magnetización}}=1.76 I_{\text{arranque}}= 467.25 \text{ A}$, $0 \text{ seg} < t < 0.1 \text{ seg}$

Tiempo de aceleración: 10 segundos

Tiempo máximo permitido de atascamiento= 20 segundos

Temperatura = 40°c

FUSIBLES TIPO "R"

Las curvas características corriente-tiempo de estos fusibles se designan como nR, donde "n" corresponde al indicador de corriente.

Según lo establecido por las normas, los fusibles con denominación "R" deben interrumpir corrientes de cortocircuito con tiempos de fusión menores a 100 seg., mientras que para una intensidad de corriente igual a 100 n, el tiempo de fusión estará comprendido entre 15 y 35 segundos.

Las corrientes nominales correspondientes a cada curva Nr son las indicadas en la segunda columna de la tabla 1, mientras que la correspondiente corriente de fusión para $15 < t_s < 35$ seg. $(100 \times n)$ se indica en la tercera columna.

Corrientes nominales y de fusión para fusibles con denominación "R"

Fusible "R" curva	Corriente nominal \supset [A]	Corriente de fusión α [A]
2R	70	200
3R	100	300
4R	130	400
5R	150	500
6R	170	600
9R	200	900
12R	230	1200
18R	390	1800
24R	450	2400
26R	480	2600
32R	600	3200
36R	650	3600

\supset Corriente máxima permanente permitida a 40° C
 α Corriente de fusión para tiempo de fusión entre 15 y 35 seg

METODO RAPIDO PARA LA SELECCION DE FUSIBLES "R"

PARA DETERMINAR EL INDICADOR "N":

$$n = \frac{\text{CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR} \times \text{FACTOR DE ARRANQUE}}{100}$$

$$\text{FACTOR DE ARRANQUE} = \frac{\text{CORRIENTE DE ARRANQUE}}{\text{CORRIENTE NOMINAL}} \quad (\text{usualmente entre } 6 \text{ y } 7)$$

ESTE MÉTODO PRESUPONE QUE EL TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR NO SERÁ MAYOR A 15 - 35 SEG. PARA TIEMPOS DE ARRANQUE MAYORES, SELECCIONE UN FUSIBLE DE LA SIGUIENTE CURVA.

Calcular y trazar la curva de arranque para un motor trifásico de 300 HP, 4160 V, 60 Hz, corriente nominal de 41 A, la curva del fusible limitador de corriente tipo "R". La Corriente de rotor bloqueado de 6 veces la corriente nominal y determine los ajustes para la protección contra sobrecarga y cortocircuito utilizando un relevador tipo CO-11

SOLUCION

1. Calcule los límites de protección del motor para dibujar la curva de arranque:

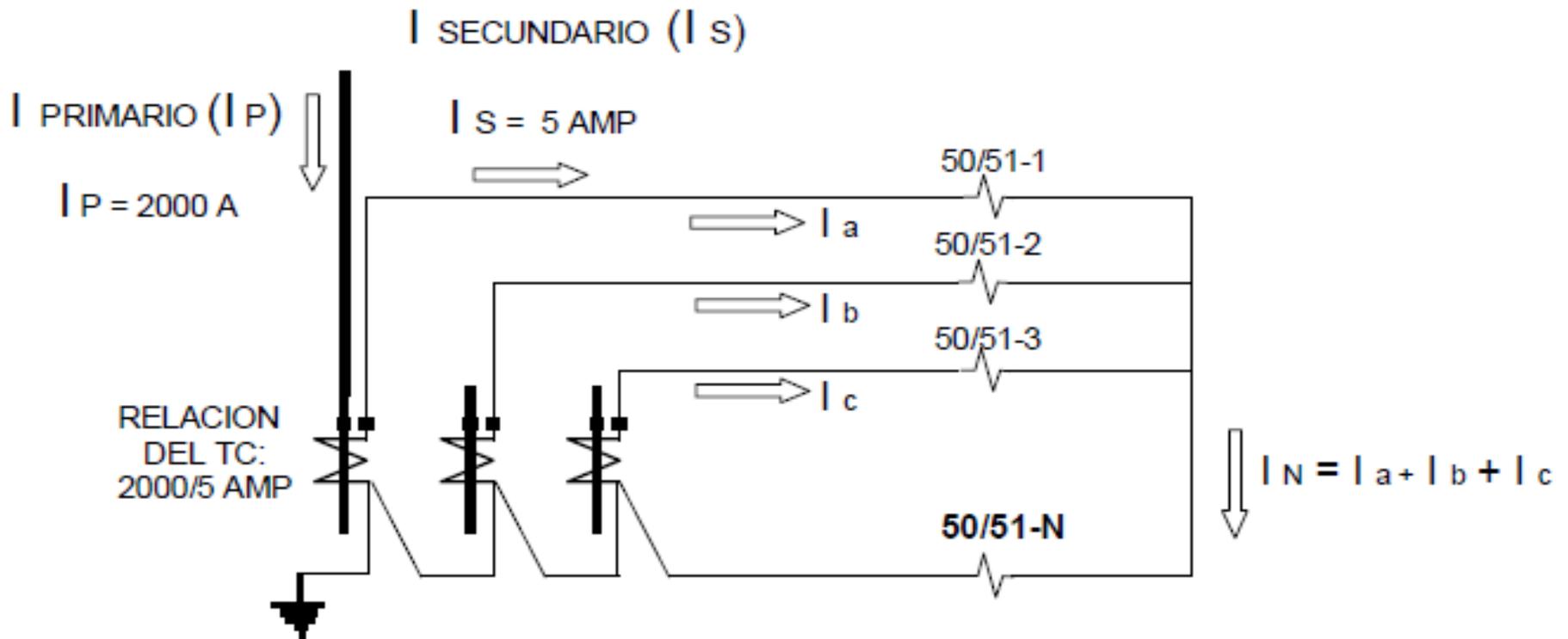
- Corriente a plena carga = 41 A , $10 \text{ s} < t < 1000 \text{ s}$
- Corriente de arranque = $6I_{pc} = 6 \times 41 = 246 \text{ A}$, $0.1 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$
- Corriente de magnetización = $1.76 I_a = 1.76 \times 246 = 432.96 \text{ A}$, $0 \text{ s} < t < 0.1 \text{ s}$

2. Cálculo del fusible tipo "R" = $(6 \times I_n) / 100 = (6 \times 41) / 100 = 246 / 100 = 2.46$ se selecciona el **fusible 3R**, con capacidad de **100 A**.

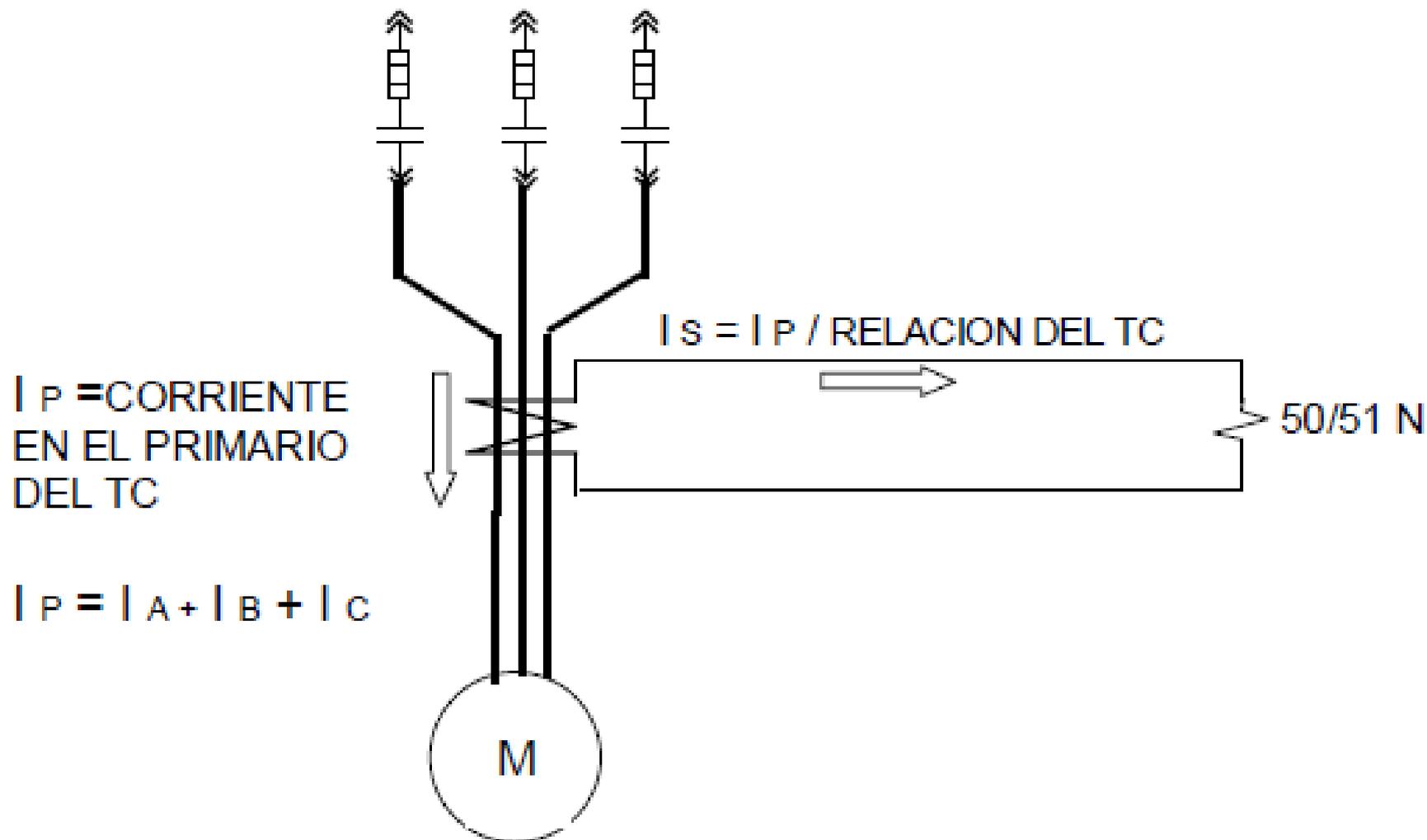
Utilizando la tabla 13 trazaremos la curva de disparo en la hoja logarítmica de tiempo – corriente de trabajo.

- ✓ Para $t = 0.01 \text{ s}$, $I = 3,200 \text{ A}$
- ✓ Para $t = 0.1 \text{ s}$, $I = 1,490 \text{ A}$
- ✓ Para $t = 1 \text{ s}$, $I = 750 \text{ A}$
- ✓ Para $t = 10 \text{ s}$, $I = 440 \text{ A}$
- ✓ Para $t = 100 \text{ s}$, $I = 300 \text{ A}$

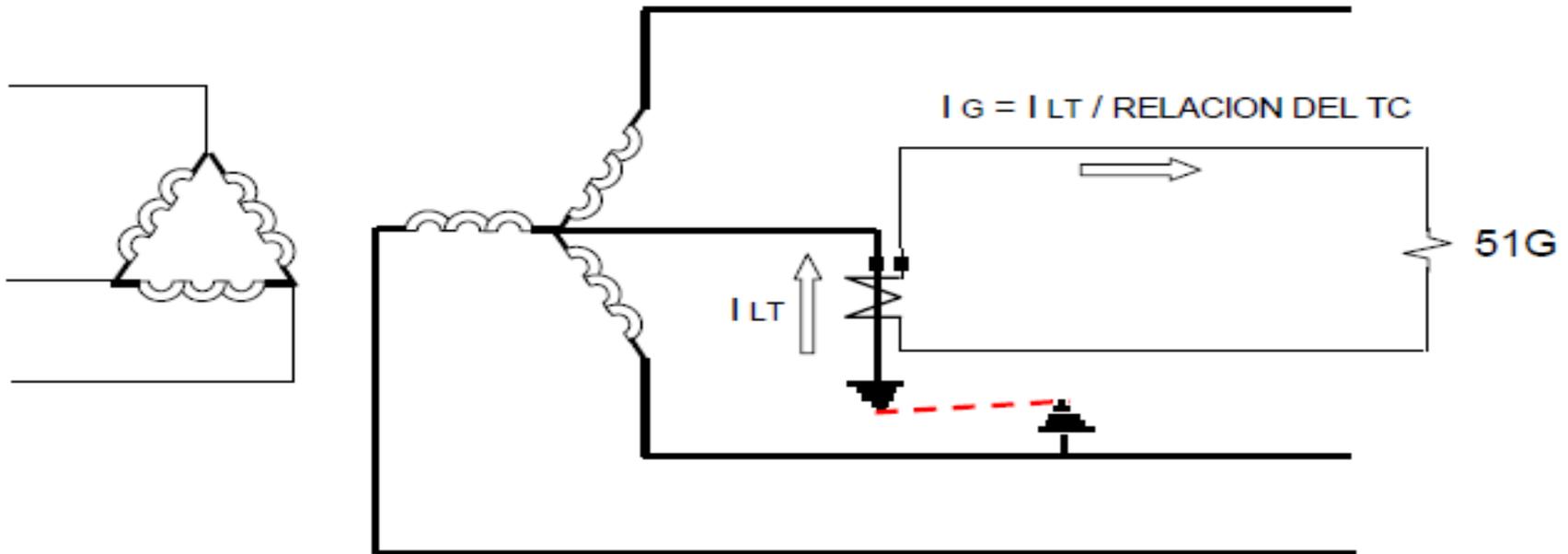
PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE



PROTECCION CONTRA FALLA A TIERRA



PROTECCION CONTRA FALLA A TIERRA



I_{LT} = CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE LINEA A TIERRA

I_G = CORRIENTE EN EL SECUNDARIO DEL TC

PROTECCION DE TRANSFORMADORES

PROTECCION DE TRANSFORMADORES

FALLAS MAS COMUNES: Las fallas mas comunes en transformadores ,algunas por razones físicas y otras ambientales son causadas por las condiciones indeseables : **sobrecargas, cortocircuitos y sobrevoltajes.**

a). Fallas internas incipientes:

- Fallas en aislamientos de los tornillos de sujeción de las laminaciones y del aislamiento entre laminaciones provocando calentamiento del aceite con desprendimiento de gases inflamables.
- Conexiones de alta resistencia o defectuosas en los devanados con producción de arqueo o calentamiento.
- Fallas en el sistema de enfriamiento ,nivel bajo de aceite, obstrucción del flujo de aceite, provocando puntos calientes en los devanados.
- Conexiones flojas en el cambiador de TAPS provocando arqueo y desprendimiento de gases del aceite.

b). Fallas internas severas:

- Arqueo entre un devanado y el núcleo o tanque debido a sobretensiones causadas por descargas atmosféricas ,maniobras de switcheo ,resonancia ,etc. combinadas con envejecimiento del aislamiento.
- Arqueo entre devanados o entre espiras adyacentes debidas a las causas anteriores o por desplazamiento de los devanados debido a las fuerzas electromagnéticas que producen al ocurrir cortocircuitos externos.
- Calentamiento excesivo por sobrecargas.
- Calentamiento y esfuerzos mecánicos por fallas externas. Los aislamientos de un transformador deben protegerse contra la absorción de humedad y contra temperatura excesiva ya que ambas provocan el deterioro de sus características aislantes, haciéndolos mas susceptibles a fallas eléctricas severas. El exceso de temperatura en los aceites minerales ,las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas también provocan perforación de los aislamientos.



ING.JOSE JIMENEZ CRUZ I.T.MINATITLAN

PROTECCION DE TRANSFORMADORES

PROCEDIMIENTO

1. Determinar la categoría del transformador según la tabla 9.
2. Determinar los límites NEC según el tipo de protección en el lado primario y del lado secundario(Tabla 4)
3. Determinar el punto Inrush (Magnetización)(Tabla 6)
4. Determinar los puntos ANSI(Tabla 10)
5. Seleccionar los fusibles, interruptor termomagnético y/o relevadores y los ajustes de Taps y tiempos (Dial) y la coordinación con los otros dispositivos.

LÍMITES DE DAÑO (LÍMITES DE DAÑO DE ACUERDO A NORMA ARGENTINA C-273)

Tabla 9 Clasificación de transformadores por capacidad y número de fases.

CATEGORÍAS DE TRANSFORMADORES

CATEGORIA	POTENCIA DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN KVA	POTENCIA DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS EN KVA
I	5 A 500	15 A 500
II	501 A 1667	501 A 5000
III	1668 A 10000	5001 A 30000
IV	ARRIBA DE 10000	ARRIBA DE 30000

CORRIENTES DE FALLA DE ACUERDO A LA CATEGORÍA DEL TRANSFORMADOR.

CATEGORÍAS I Y II, UTILIZAR ÚNICAMENTE LA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR.

$$I_{cc} = \frac{I \text{ nominal del transformador}}{\text{Impedancia (Z) del transformador en decimal}}$$

CATEGORÍAS III Y IV, UTILIZAR LA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR Y LA DEL SISTEMA.

$$I_{cc} = \frac{I \text{ nominal del transformador}}{Z \text{ del transformador en decimal} + Z \text{ del sistema (a la potencia base del transformador)}}$$

CURVA DE DAÑO GENERAL PARA TRANSFORMADORES POR LOS QUE NO CIRCULA CORRIENTE DE FALLA EN FORMA FRECUENTE (NO MAS DE 10 FALLAS DURANTE LA VIDA DEL TRANSFORMADOR) PARA OBTENER LA CURVA, SE CALCULA EL TIEMPO PARA VARIOS VALORES DE CORRIENTE, PARTIENDO DEL 200% DE LA CORRIENTE NOMINAL, HASTA LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO CALCULADA DE ACUERDO A LO INDICADO EN EL PUNTO ANTERIOR.

$$T = \frac{1250}{I^2}$$

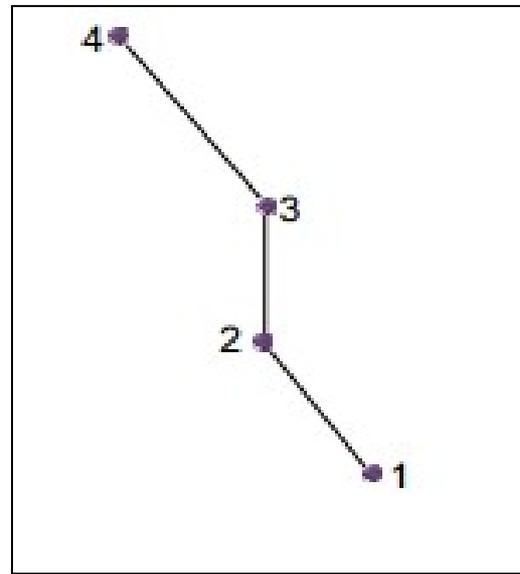
T = TIEMPO PERMITIDO PARA LA CORRIENTE I

I = CORRIENTE PARA CALCULAR LOS PUNTOS DE LA CURVA (EN P.U.)

GENERALMENTE SE INICIA DE 200 % DE LA CORRIENTE NOMINAL DEL TRANSFORMADOR Y SE SELECCIONAN VARIOS VALORES, TENIENDO COMO MÁXIMO LA CORRIENTE DE FALLA QUE CIRCULA POR EL TRANSFORMADOR, CALCULADA DE ACUERDO A LO INDICADO EN EL PUNTO 13.1.2

CURVA DE DAÑO TIPICA PARA TRANSFORMADORES POR LOS QUE CIRCULAN CORRIENTES DE FALLA MÁS FRECUENTES. (MAS DE 10 DURANTE LA VIDA DEL TRANSFORMADOR)

- PARA TIEMPOS DE 50 SEGUNDOS EN ADELANTE, LA CURVA ES LA MISMA, CALCULADA CON LA FORMULA INDICADA EN EL PUNTO 13.1.3.
- PARA TIEMPOS MENORES A 50 SEGUNDOS, LA CURVA DE DAÑO PRESENTA LA SIGUIENTE FORMA:



VALORES DE TIEMPO Y CORRIENTE PARA LA CURVA DE DAÑO DE LOS TRANSFORMADORES.

PUNTO	CATEGORÍA DEL TRANSFORMADOR	TIEMPO EN SEGUNDOS	CORRIENTE EN AMPERES CORRESPONDIENTE AL PUNTO INDICADO
1 (PUNTO ANSI)	I	$1250 (Z_T)^2$	I_N / Z_T
	II	2	I_N / Z_T
	III Y IV	2	$I_N / (Z_T + Z_S)$
2	II	4.08	$0.7 I_N / Z_T$
	III Y IV	8.0	$0.5 I_N / (Z_T + Z_S)$
3	II	$2551 (Z_T)^2$	$0.7 I_N / Z_T$
	III Y IV	$5000 (Z_T)^2$	$0.5 I_N / (Z_T + Z_S)$
4	I, II, III, IV	50	5 (I_N)

Z_T = IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR EXPRESADA EN DECIMAL (%Z / 100)

I_N = CORRIENTE NOMINAL DEL TRANSFORMADOR

Z_S = IMPEDANCIA DEL SISTEMA DONDE SE LOCALIZA EL TRANSFORMADOR, (VISTA DESDE LAS TERMINALES DEL TRANSFORMADOR)

CORRECCIÓN DEL PUNTO ANSI:

EL PUNTO 1 DE LA CURVA DE DAÑO DE UN TRANSFORMADOR, SE LE CONOCE COMO PUNTO ANSI, Y APLICA PARA FALLAS TRIFÁSICAS. PARA FALLAS DE LINEA A LINEA Y FALLAS DE LINEA A TIERRA, ES NECESARIO EFECTUAR UNA CORRECCIÓN A LA MAGNITUD DE CORRIENTE PARA EL PUNTO 1 DE LA TABLA DEL INCISO 13.1.5, LA CUAL DEPENDE DE LA CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR, YA QUE UNA FALLA DE LINEA A LINEA O DE LINEA A TIERRA EN EL SECUNDARIO SE PUEDE VER REFLEJADA CON UNA MAGNITUD MENOR EN EL PRIMARIO DEPENDIENDO DE LAS CONEXIONES DEL TRANSFORMADOR (CORRIENTE EN POR UNIDAD).

CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR	FACTORES PARA CORREGIR LA CORRIENTE DEL PUNTO ANSI TRIFÁSICO POR FALLAS DE:	
	LINEA A TIERRA	LINEA A LINEA
	-----	$0.86 \times I_{ANSI}$
	-----	$0.86 \times I_{ANSI}$
	$0.577 \times I_{ANSI}$	-----

NECESIDADES DE PROTECCIÓN:

FALLAS INCIPIENTES

- CORTO CIRCUITO ENTRE ESPIRAS
- FALSOS CONTACTOS EN EL INTERIOR (CAMBIADOR, CONEXIONES)
- CALENTAMIENTO ANORMAL POR FALLA EN SISTEMA DE ENFTO.

FALLAS INTERNAS SEVERAS.

- CORTOCIRCUITO ENTRE DEVANADOS
- CORTOCIRCUITO DE UN DEVANADO A TIERRA
- CORTOCIRCUITO EN EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES.

SOBRECALENTAMIENTO POR SOBRECARGA

- SOBRECARGA DE LOS EQUIPOS Y CIRCUITOS ALIMENTADOS POR EL TRANSFORMADOR

SOBRECALENTAMIENTO Y ESFUERZOS MECÁNICOS POR FALLAS EXTERNAS.

- CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO CIRCULANDO POR EL TRANSFORMADOR HACIA EL PUNTO DE FALLA.

CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN (INRUSH).

LA PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE EN EL PRIMARIO NO DEBE OPERAR CON LA CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN, LA CUAL SE CONSIDERA DE 8 A 12 VECES LA CORRIENTE NOMINAL DEL TRANSFORMADOR DURANTE 0.1 SEGUNDOS, DEPENDIENDO DE LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR:

TRANSFORMADORES MENORES DE 1500 KVA:	8	x	I nominal
TRANSFORMADORES DE 1500 A 3750 KVA:	10	x	I nominal
TRANSFORMADORES MAYORES DE 3750 KVA:	12	x	I nomina

PROTECCIONES RECOMENDADAS (ADICIONALES A LOS DISPOSITIVOS MONTADOS EN EL PROPIO TRANSFORMADOR, COMO RELÉS DE IMAGEN TÉRMICA, ALTA TEMPERATURA DEL ACEITE, BUCHOLZ, SOBREPRESIÓN).

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN (HASTA 1500 KVA):

- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO DE FASE (PRIMARIO) (50)
- PROTN. CONTRA FALLAS A TIERRA (PRIMARIO Y SECUNDARIO) (51N)
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS (SECUNDARIO) (51 Y/O ELECTROMAGNÉTICOS).

PROTECCIONES ADICIONALES.

- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES (APARTARRAYOS), DONDE SE TENGAN INTERCONEXIONES CON LINEAS AEREAS O SE TENGAN SOBRETENSIONES INTERNAS ALTAS O FRECUENTES.

TRANSFORMADORES DE POTENCIA (MAYORES DE 5000 KVA)

- PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS (SECUNDARIO) (51) O (49)
- PROTN. CONTRA FALLAS A TIERRA (PRIMARIO Y SECUNDARIO) (51N)
- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO DE FASE (PRIMARIO) (50)
- PROTECCION DIFERENCIAL (FALLAS INTERNAS) (87)

LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES CON CONEXIÓN DELTA/ESTRELLA, SE DEBEN CONECTAR EN **ESTRELLA, EN EL LADO DONDE SE UBICA EL DEVANADO DEL TRANSFORMADOR EN DELTA,** Y **EN DELTA EN EL LADO DONDE SE UBICA EL DEBANADO DEL TRANSFORMADOR EN ESTRELLA.** LO ANTERIOR PARA COMPENSAR EL ANGULO DE FASE DE LAS CORRIENTES EN EL PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.

PROTECCIONES ADICIONALES DEPENDIENDO DE LA CRITICIDAD DE LA CARGA Y TIPO DE TRANSFORMADOR.

- PROTECCIÓN TÉRMICA (49)
- PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA (46)
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIÓN O VOLTZ/HERTZ, PARA TRANSFORMADORES DE MAS DE 30000 KVA.

- PROTECCIÓN BUCHOLZ (EN TRANSFORMADORES CON TANQUE CONSERVADOR) (PROPORCIONA PROTECCIÓN CONTRA FALLAS INTERNAS INCIPIENTES Y SEVERAS)
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES (APARTARRAYOS), DONDE SE TENGAN INTERCONEXIONES CON LINEAS AEREAS O SE TENGAN SOBRETENSIONES INTERNAS ALTAS O FRECUENTES

PROTECCIONES COMÚNMENTE UTILIZADAS EN LA REFINERIA LAZARO CARDENAS DE MINATITLAN:

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN (HASTA 1500 KVA)

- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO DE FASE (PRIMARIO) FUSIBLES O SOBRECORRIENTE (50/50)
- PROTN. CONTRA FALLAS A TIERRA (PRIMARIO) (50/51N)
- PROTECCION CONTRA SOBRECARGAS (SECUNDARIO). CON ELECTROMAGNÉTICOS.

TRANSFORMADORES DE POTENCIA (MAYORES DE 5000 KVA)

- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO DE FASE (PRIMARIO) SOBRECORRIENTE (50 / 51)
- PROTECCION DIFERENCIAL (FALLAS INTERNAS) (87)
- PROTN. CONTRA FALLAS A TIERRA (PRIMARIO Y SECUNDARIO) SOBRECORRIENTE A TIERRA (50/ 51N)
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS (SECUNDARIO) SOBRECORRIENTE (51).
- PROTECCIÓN BUCHOLZ (EN TRANSFORMADORES CON TANQUE CONSERVADOR) (PROPORCIONA PROTECCIÓN CONTRA FALLAS INTERNAS INCIPIENTES Y SEVERAS)

AJUSTES TIPICOS

PROTECCIÓN CONTRA	DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	AJUSTE TÍPICO
CORTOCIRCUITO	FUSIBLE	>1.3 I nominal, La curva de fusión mínima debe permitir la corriente de magnetización y coordinar con la protección en el secundario, para dar respaldo a fallas en el bus principal del secundario.
	RELE 50	Ajuste para que no vea la corriente de cortocircuito asimétrica en el secundario, y permita la corriente de magnetización.
	DIFERENCIAL	Pendiente de 50%, sin retardo de tiempo. En transformadores grandes (30 MVA o más) se recomienda que tengan restricción de armónicas.
SOBRECARGA	TÉRMICO	Depende del tipo de relevador, y ajustar de acuerdo al manual de operación del relevador.
FALLAS A TIERRA	50/51N	Con TCs en conexión residual, Pick Up de 10 a 20% de la máxima falla a tierra del sistema, con un retardo mínimo de 0.1 seg, en el primario de transformadores con conexión delta, y retardo ajustable de acuerdo a la coordinación, para relevadores en el secundario
RESPALDO CONTRA FALLAS EXTERNAS	51	Pick Up entre 130 y 200% (nunca exceder de 250%) de la corriente nominal, con tiempo ajustable de acuerdo al estudio de coordinación de protecciones.
	Electromagnéticos	Pick Up de los ajustes de tiempo largo entre 125 y 180% de la corriente nominal, y de tiempo corto a no más de 6 veces la corriente nominal del transformador, el retardo de tiempo de ambos elementos seleccionado de acuerdo a la carga alimentada y a la coordinación de protecciones.
	46	Utilizar esta protección en el primario de transformadores con conexión Delta – Estrella aterrizada solidamente o con alta impedancia. Esta protección es más sensible para dar respaldo contra fallas a tierra en el secundario que una de sobrecorriente de fase (51). El ajuste será de acuerdo al tipo de relevador.

EJEMPLO

En una instalación industrial se alimenta a un transformador trifásico de **2500 KVA, 13,800 /480 v** , con una impedancia de **5.75%**, enfriamiento **OA**, conexión **delta/estrella** sólidamente conectado a tierra, **65°C**.

La protección del transformador consiste de **fusible** en el lado primario e **interruptor** electromagnético con unidad de disparo por sobrecorriente en el lado secundario.

Solución:

1. Por **Tabla 9** el transformador pertenece a la categoría **II: 2,500 KVA** , a continuación se determinaran los puntos ANSI según la **Tabla 10:**

Punto 1:

$$\begin{aligned} I_1 &= (I_{pc}/Z_t) \times \text{Factor ANSI} \\ &= (2,500\text{KVA} / \sqrt{3} \times 0.48 \text{ KV} \times 0.0575 \text{ pu}) \times 0.58 \\ &= 30,597.88 \text{ A,} \end{aligned}$$

t1= 2 segundos.Referidos al secundario.

Punto 2:

$$\begin{aligned} I_2 &= 0.7(I_{pc}/Z_t) \times \text{Factor ANSI} \\ &= 0.7 (2,500\text{KVA} / \sqrt{3} \times 0.48 \text{ KV} \times 0.0575 \text{ pu}) \times 0.58 \\ &= 21,418.51 \text{ A,} \end{aligned}$$

t2= 4.08 segundos. Referidos al secundario.

Punto 3= Punto 2 = 21,418.51 A,Referidos al secundario

t3= 2551(0.0575)>2=8.29 segundos

Punto 4:

$$\begin{aligned} I_4 &= 5 (I_{pc}/Z_t) \times \text{Factor ANSI} \\ I_4 &= 5(2,500\text{KVA} / \sqrt{3} \times 0.48 \text{ KV}) \times 0.58 \\ &= 8,720.39 \text{ A,} \end{aligned}$$

t4=50 segundos. Referidos al secundario.

NOTA: Para referirlos los valores al primario, hay que multiplicar los valores por (480/13800).

2. Calcular los límites NEC según la [Tabla 4](#):

$$\text{NEC primario} = 300\% I_p = 3(2,500 \text{ KVA} / \sqrt{3} * 13.8 \text{ KV}) = \underline{313.7865 \text{ A}}$$

3. Capacidad de sobrecarga por [Tabla 5](#):

$$\begin{aligned} I \text{ sobrecarga} &= I \text{ plena carga} \times \text{Factor de enfriamiento} \times \text{Factor de temperatura} \\ &= (2,500 \text{ KVA} / \sqrt{3} * 13.8 \text{ KV}) \times 1 \times 1 = \underline{104.5955 \text{ A}} \end{aligned}$$

4. Corriente de magnetización según la [Tabla 6](#):

$$\begin{aligned} I_{\text{magnetización}} &= 10 \times I_{\text{plena carga}} \\ &= 10 (2,500 \text{ KVA} / \sqrt{3} * 13.8 \text{ KV}) = \underline{1,045.955 \text{ A}, t=0.1 \text{ seg.}} \end{aligned}$$

5. La corriente nominal primario $I_p = 2500 \text{ KVA} / \sqrt{3} * 13.8 \text{ KV} = \underline{104.5955 \text{ A}}$

6. La corriente nominal secundario $I_s = 2500 \text{ KVA} / \sqrt{3} * 0.48 \text{ KV} = \underline{3,007.12 \text{ A}}$

7. Selección del fusible del lado primario: $I = 150\% I_p = 1.5 \times 104.59 = \underline{156.885 \text{ A}}$.

El valor comercial más próximo es de **200 A=9R=200E**.

9. Selección del interruptor electromagnético:

—

DISPOSITIVO NÚMERO	CARACTERÍSTICAS
26-Q	Relevador térmico de líquido
49	Relevador térmico de devanado
50/51	Relevador de sobrecorriente con característica de disparo instantáneo para protección contra falla de cortocircuito (disp.50), y unidad con característica de respuesta con retardo de tiempo intencional para protección contra sobrecarga (disp. 51)
50G	Relevador de falla a tierra alimentado desde un transformador de secuencia cero.

	Característica de respuesta instantánea
51G	Relevador de falla a tierra alimentado desde un transformador de secuencia cero. Característica de respuesta con retardo intencional.
50N/51N	Las mismas que el 50/51, pero con dispositivos (por c/unidad) para la protección de fallas a tierra
52	Interruptor de Potencia en aire ó en vacío
63-P	Relevador de presión de líquido o de gas
63-T	Relevador de Buchholz de flujo y presencia de gases
71-Q	Relevador de nivel de líquido refrigerante.
86-T	Relevador Auxiliar de bloqueo
87-T	Relevador de protección diferencial de porcentaje variable, con unidad de restricción de armónicas.

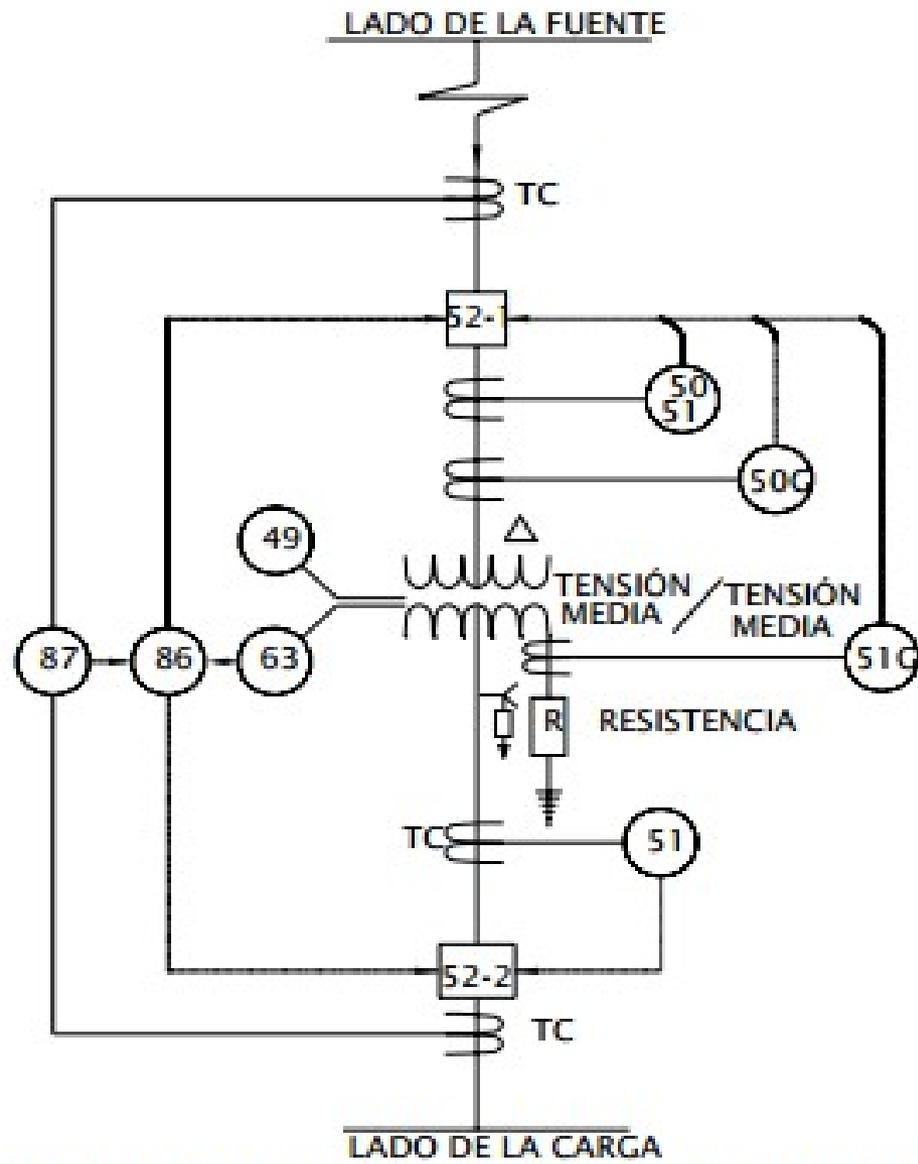


Figura 4.2 Protección mínima para transformadores de 7.5 mva's y mayores, con interruptor de potencia en el primario

NOTA: Los relevadores 63 y 87 deben utilizarse para protección de transformadores con capacidades de 500 kVA y mayores; y en forma opcional el 63, para transformadores de 500 kVA en adelante.

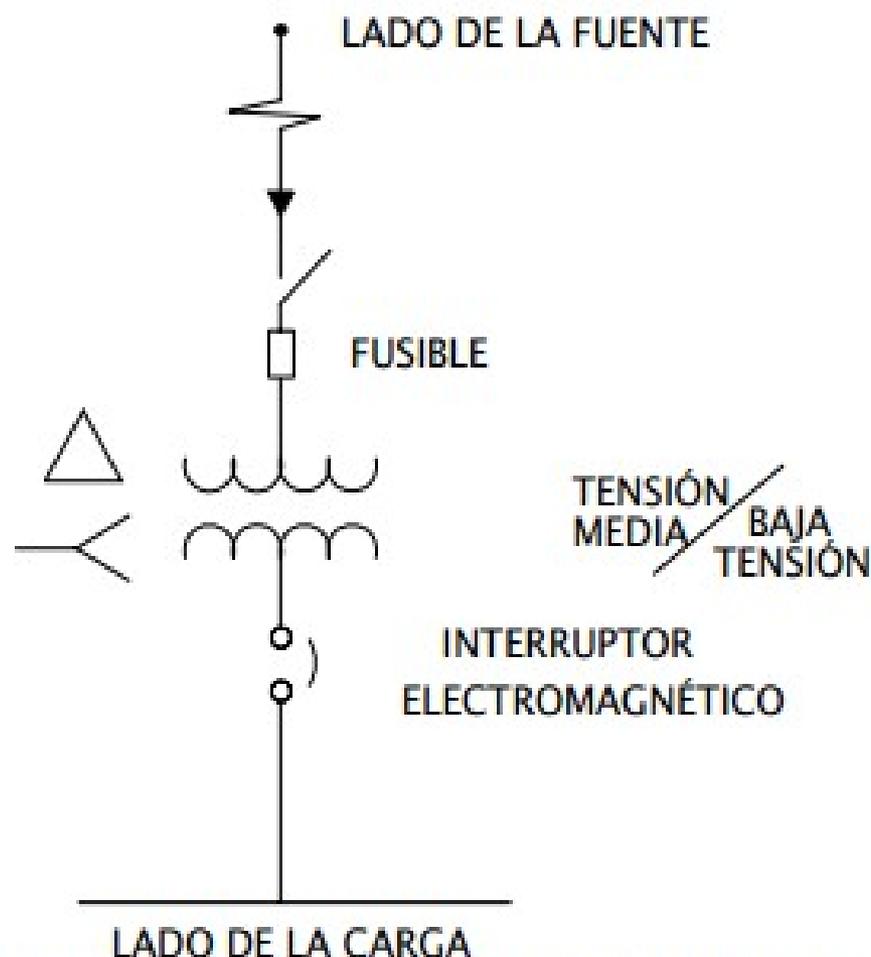
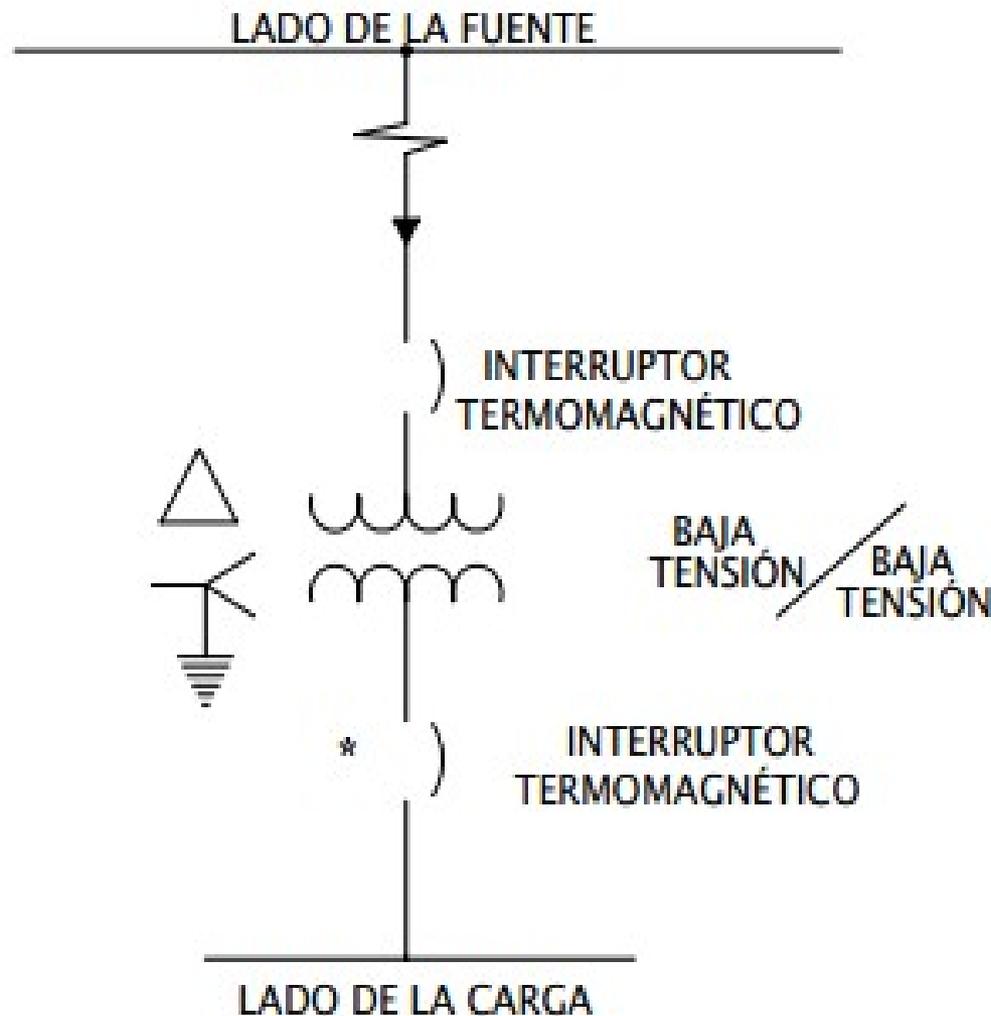
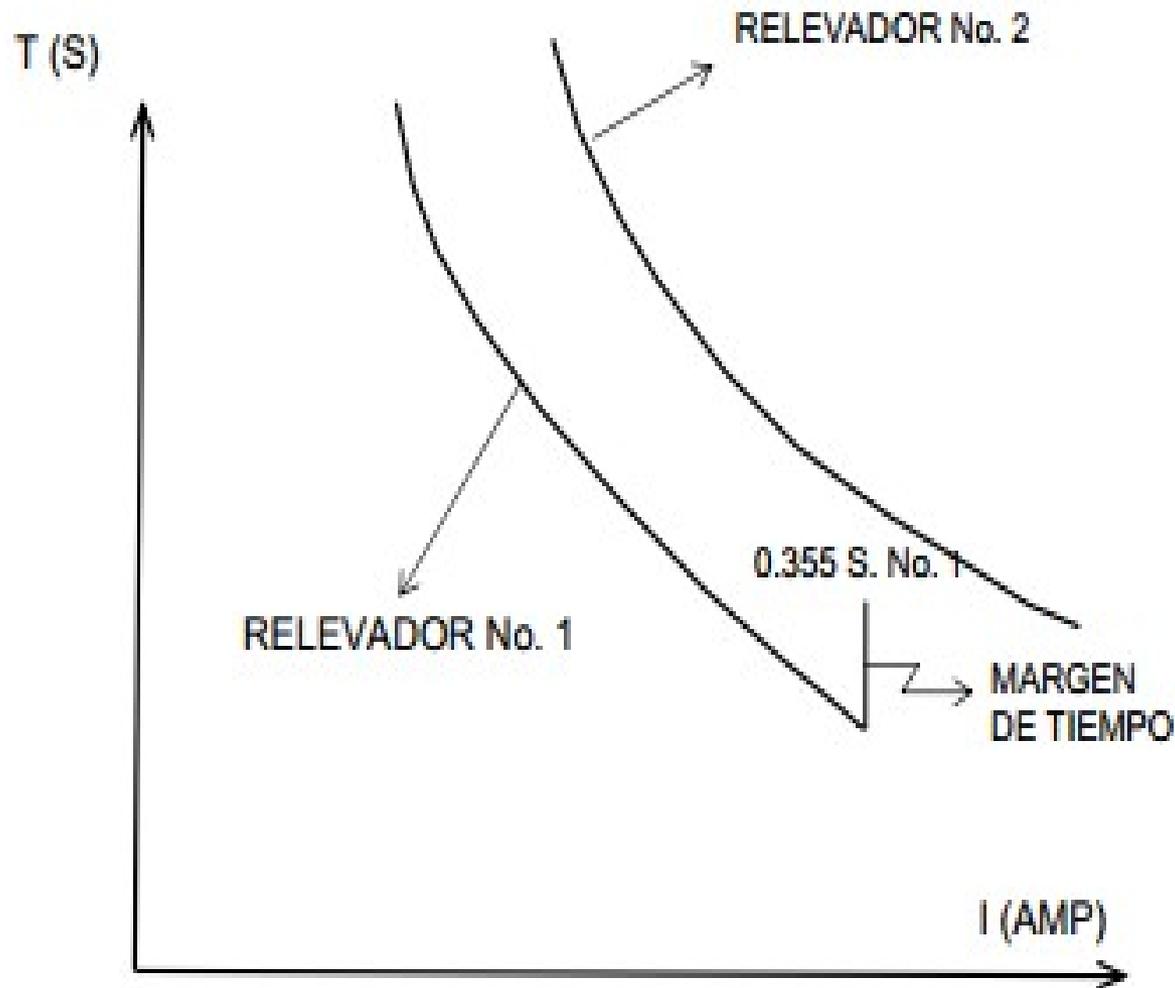


Figura 4.4 Protección para transformadores de distribución, en el rango de 500 a 1500 kva

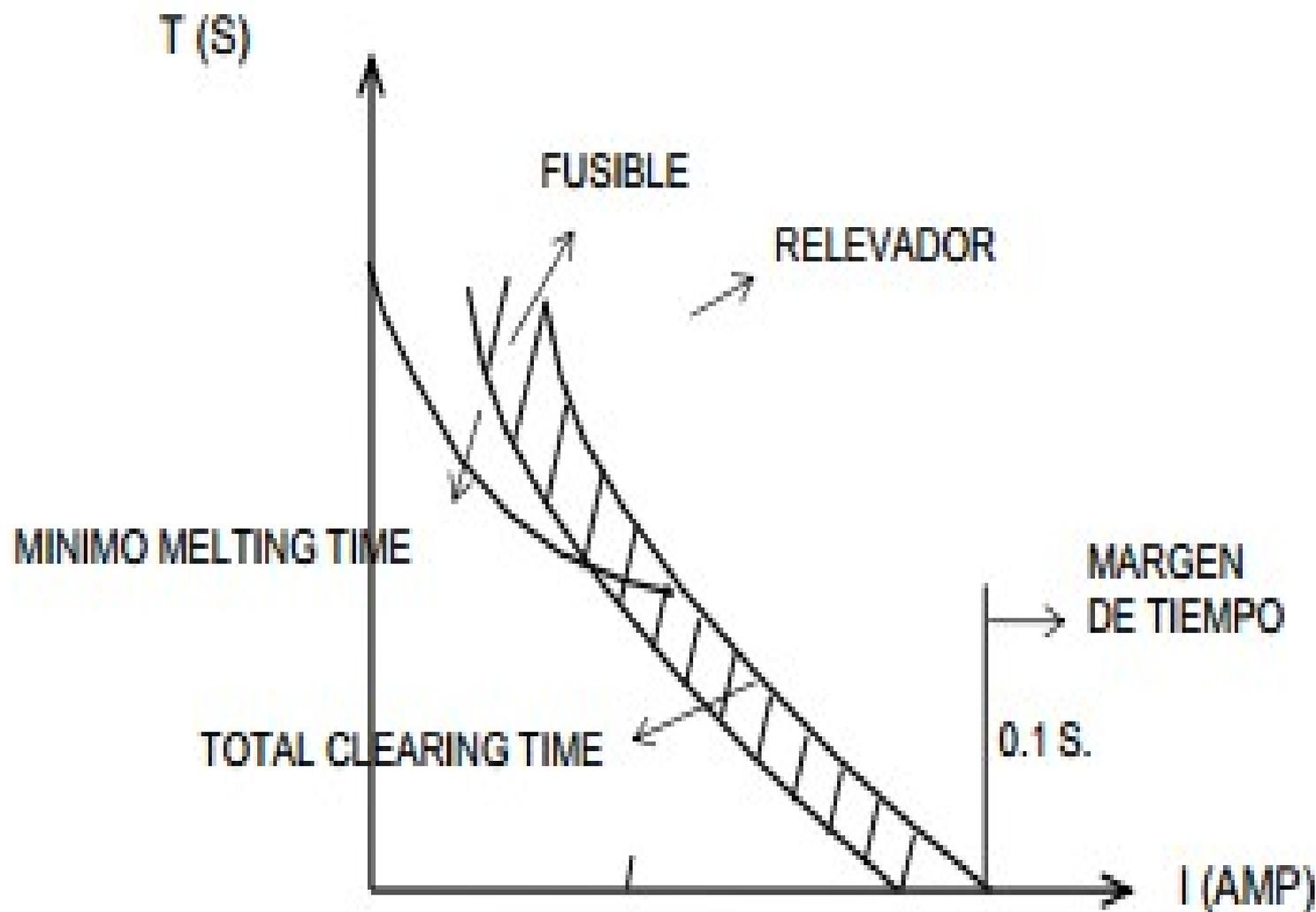


*El interruptor termomagnético, en el lado secundario, puede omitirse

Figura 4.5 Protección para transformadores de servicios auxiliares, menores a 500 kva



Gráfica 4.6 Margen de tiempo entre relevadores de tiempo inverso



Gráfica 4.7 Margen de tiempo mínimo entrefusible -relevador

PROTECCION A GENERADORES

LIMITES DE DAÑO DE GENERADORES.

SOBRECARGA DEL ESTATOR.

CONSIDERAR LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE. SI NO SE TIENEN DATOS, CONSIDERAR LOS SIGUIENTES VALORES DE ACUERDO A NORMA AMERICANAS, PARA SOBRECARGAS EN EL ESTATOR:

% DE LA CORRIENTE NOMINAL:	226	154	130	116
TIEMPO EN SEGUNDOS:	10	30	60	120

SOBRECARGA DEL ROTOR.

CONSIDERAR LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE.
SI NO SE TIENEN DATOS, CONSIDERAR LOS SIGUIENTES
VALORES DE ACUERDO A NORMA AMERICANAS, PARA
SOBRECARGA DEL ROTOR:

% DELVOLTAJE DE CAMPO:	208	146	125	112
TIEMPO EN SEGUNDOS:	10	30	60	120

OPERACIÓN A BAJAS FRECUENCIAS.

CONSIDERAR LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE. SI NO SE TIENEN DATOS, CONSIDERAR LOS SIGUIENTES DATOS DE ACUERDO ANORMAS AMERICANAS, PARA OPERACIÓN CON BAJAS FRECUENCIAS.

BAJA FRECUENCIA		ALTA FRECUENCIA	
FRECUENCIA	TIEMPO	FRECUENCIA	TIEMPO
58.5	60 MINUTOS	61.45	10 MINUTOS
57.8	10 MINUTOS	61.7	60 MINUTOS
57.4	110 SEGUNDOS		
56.85	14 SEGUNDOS		
56.5	2.4 SEGUNDOS		
56.0	1.5 SEGUNDOS		

NECESIDADES DE PROTECCIÓN.

LOS GENERADORES, DEPENDIENDO DE SU CAPACIDAD E IMPORTANCIA PARA EL SISTEMA DONDE SE LOCALICEN, DEBER SER PROTEGIDOS CONTRA LAS SIGUIENTES CONDICIONES ANORMALES:

SOBRECARGAS EN ESTATOR Y ROTOR. LAS SOBRECARGAS PRODUCEN CALENTAMIENTOS QUE DISMINUYEN LA VIDA DE LOS AISLAMIENTOS, POR LO CUAL DEBERÁN LIMITARSE DE ACUERDO A LO INDICADO POR EL FABRICANTE O EN PUNTOS ANTERIORES.

LOS SISTEMAS DE GOBIERNO DE LA TURBINA Y CONTROL DE EXCITACIÓN, CUENTAN NORMALMENTE CON LIMITADORES DE CARGA Y/O CORRIENTE DE CAMPO, POR LO QUE LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN CASO DE UTILIZARSE, ACTUARÁ COMO RESPALDO.

CORTOCIRCUITOS INTERNOS.

LAS FALLAS INTERNAS (DE LINEA A TIERRA, ENTRE ESPIRAS O ENTRE FASES) DEBEN DETECTARSE Y AISLARSE RÁPIDAMENTE, PARA MINIMIZAR LOS DAÑOS A LA LAMINACIÓN YA QUE SE PUEDEN PRODUCIR DAÑOS IRREPARABLES.

CARGAS DESBALANCEADAS.

DAN ORIGEN A LA CIRCULACIÓN DE CORRIENTES DESBALANCEADAS, QUE PROVOCAN LA CIRCULACIÓN DE “CORRIENTES DE SECUENCIA NEGATIVA”, LAS CUALES PRODUCEN UN EFECTO TÉRMICO MAYOR EN EL GENERADOR, QUE UNA CORRIENTE BALANCEADA DE LA MISMA MAGNITUD.

EL FABRICANTE DE CADA GENERADOR DEBE PROPORCIONAR EL DATO DE LA CORRIENTE DE SECUENCIA NEGATIVA MÁXIMA QUE SOPORTA SU EQUIPO, INDICADO COMO UNA CONSTANTE. LA MAYORIA DE LOS GENERADORES TIENEN UN LÍMITE DADO POR LA SIGUIENTE ECUACIÓN.

$$(I_2)^2 \times T \leq 10$$

I_2 = Corriente de Secuencia Negativa en P.U.

T = Tiempo de duración de la corriente I_2

PERDIDA DE CAMPO.

LA OPERACIÓN DEL GENERADOR CON FACTOR DE POTENCIA ADELANTADO (RECIBIENDO KVAR), PRODUCE UN CALENTAMIENTO ANORMAL EN EL HIERRO DEL ROTOR, MOTIVO POR EL CUAL DEBE EVITARSE ESTA CONDICIÓN, PARA LO CUAL EL SISTEMA DE EXCITACIÓN CUENTA CON LIMITADORES. LA PROTECCIÓN DE PERDIDA DE CAMPO ES UN RESPALDO PARA DISPARAR EL GENERADOR EN CASO DE MANTENERSE LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN CON FACTOR DE POTENCIA ADELANTADO.

FRECUENCIA ANORMAL.

LA OPERACIÓN DE GENERADORES CON BAJA O ALTA FRECUENCIA, PROVOCA DAÑOS EN LOS ALABES DE LA TURBINA, Y TRANSTORNOS EN LA RED, (SOBRECALENTAMIENTO EN MOTORES CON ALTA FRECUENCIA Y PERDIDA DE POTENCIA EN MOTORES CON BAJA FRECUENCIA) POR LO QUE SE DEBERÁ EVITAR OPERAR AL GENERADOR CON LAS FRECUENCIAS Y TIEMPOS INDICADOS POR EL FABRICANTE.

VOLTAJE ANORMAL.-

LA OPERACIÓN DEL GENERADOR CON ALTO VOLTAJE PUEDE DAÑAR O ENVEJECER EL AISLAMIENTO DEL ESTATOR.

ESTOS SOBREVOLTAJES DE FRECUENCIA NOMINAL SE PUEDEN PRESENTAR DURANTE RECHAZOS DE CARGA Y OPERACIÓN ANORMAL (O EN MANUAL) DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN.

LA OPERACIÓN CON BAJO VOLTAJE, NO ES DAÑINA PARA LA MÁQUINA, PERO PUEDE SER INDICATIVA DE OTRA CONDICIÓN (POR EJEMPLO PÉRDIDA DE EXCITACIÓN O ALIMENTACIÓN DE UNA FALLA EXTERNA REMOTA), ADEMÁS DE QUE ES UNA CONDICIÓN ANORMAL PARA LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS CONECTADOS AL SISTEMA DONDE OPERA EL GENERADOR.

MOTORIZACIÓN DEL GENERADOR.-

EN EL CASO DE UN TURBOGENERADOR, ESTA CONDICIÓN OCURRE CUANDO NO SE TIENE SUFICIENTE VAPOR PARA MOVER LA MÁQUINA, POR LO QUE EN ESTE CASO, EL GENERADOR TOMA POTENCIA (KW) DEL SISTEMA (1.5 A 3% DE LOS KW NOMINALES DEL GENERADOR), CONVIRTIÉNDOSE MOMENTÁNEAMENTE EN MOTOR. ESTA CONDICIÓN EN CASO DE PERSISTIR, PRODUCE UN CALENTAMIENTO ANORMAL EN UNA TURBINA DE VAPOR.

PERDIDA DE SINCRONISMO.-

CUANDO EL GENERADOR OPERA EN PARALELO (ENLAZADO) CON CFE U OTROS GENERADORES, Y POR ALGUNA SITUACIÓN CÁE EN LA REGIÓN DE SUBEXCITACIÓN, EXISTE EL RIEZGO DE QUE DURANTE UNA FALLA O DISTURBIO DEL SISTEMA, SE LLEGUE A PERDER EL SINCRONISMO ENTRE GENERADORES O CON CFE, CONDICIÓN QUE PRODUCIRÍA LA CIRCULACIÓN DE CORRIENTES MUY ALTAS Y EL DISPARO GENERALIZADO DE LAS FUENTES DE POTENCIA ELÉCTRICA.

RESPALDO CONTRA FALLAS EXTERNAS.-

LA CORRIENTE DE FALLA QUE APORTA UN GENERADOR, DISMINUYE A MEDIDA QUE TRASCURRE EL TIEMPO, DE MODO QUE 2 A 3 SEGUNDOS DESPUÉS DE HABER FALLA, LA CORRIENTE DECAE A VALORES CERCANOS A LA CORRIENTE NOMINAL, Y EN ALGUNOS DISEÑOS INCLUSIVE ES INFERIOR A LA CORRIENTE NOMINAL DEL GENERADOR. SI LA FALLA ES EN EL BUS DONDE DESCARGA EL GENERADOR (O EN ALGUN PUNTO CERCANO), LAS PROTECCIONES NORMALES DEL GENERADOR PUEDEN NO OPERAR, POR LO QUE SE REQUIERE DE UNA PROTECCIÓN ADICIONAL QUE ES LA DE RESPALDO CONTRA ESTE TIPO DE FALLAS (EXTERNAS AL GENERADOR), Y QUE SEA SENSIBLE PARA DETECTAR LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE IGUALES O LIGERAMENTE SUPERIORES A LA NOMINAL BAJO CONDICIONES DE FALLA, EN FORMA RÁPIDA (MENOS DE 3 SEGUNDOS), PERO QUE NO OPERE BAJO CONDICIONES DE SOBRECARGA DE LA MISMA MAGNITUD.

PARA PODER REALIZAR LO ANTERIOR, SE DEBEN UTILIZAR RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE QUE DE ALGUN MODO TAMBIEN CONSIDEREN EL VOLTAJE EXISTENTE EN LAS TERMINALES DEL GENERADOR, PAR PODER ENVIAR UNA SEÑAL DE DISPARO, LO ANTERIOR CON LA FINALIDAD DE DISTINGUIR UNA CONDICIÓN DE SOBRECARGA DE UNA CONDICIÓN DE FALLA INICIADO UNA CONDICIÓN DE FALLA.

SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.

EL GENERADOR SE DEBE PROTEGER CONTRA SOBRETENSIONES TRANSITORIAS GENERADAS POR MANIOBRAS DE SWICHEO O INDUCIDAS POR SOBRETENSIONES DE ORIGEN ATMOSFÉRICO. PARA LO ANTERIOR SE REQUIERE INSTALAR UN APARTARRAYOS EN PARALELO CON UN CAPACITOR LO MÁS CERCANO A LAS TERMINALES DEL GENERADOR.

PROTECCIONES RECOMENDADAS

GENERADORES DE MENOS DE 1000 KVA

- PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87)
- PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA (51G)
- PROTECCIÓN DE POTENCIA INVERSA (32)
- PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA (46)
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES TRANSITORIAS

PROTECCIONES OPCIONALES, DEPENDIENDO DE LA IMPORTANCIA Y TIPO DE CARGA MANEJADO POR LA MÁQUINA:

- PROTECCIÓN DE SOBRECARGA (49)
- PROTECCIÓN CONTRA ALTA Y BAJA FRECUENCIA
- PROTECCIÓN CONTRA ALTO Y BAJO VOLTAJE

GENERADORES DE MAS DE 1000 KVA.

- PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE FASE (87)
- PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA (51G)
- PROTECCIÓN DE POTENCIA INVERSA (32)
- PROTECCION DE SECUENCIA NEGATIVA (46)
- PROTECCIÓN DE PÉRDIDA DE EXCITACIÓN (40)
- PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE CON RESTRICCIÓN DE VOLTAJE (51V)
- PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA EN EL ROTOR (64)
- PROTECCIÓN CONTRA ALTA Y BAJA FRECUENCIA (81)

PROTECCIONES OPCIONALES, DEPENDIENDO DE LA IMPORTANCIA Y TIPO DE CARGA MANEJADO POR LA MÁQUINA:

- PROTECCIÓN DE SOBRECARGA (49)
- PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE TIERRA (87G)
- PROTECCIÓN CONTRA ALTO Y BAJO VOLTAJE (59 Y 27)
- PROTECCIÓN CONTRA PÉRDIDA DE SINCRONISMO (78)

PROTECCIONES EXISTENTES EN LOS GENERADORES DE ESTE CENTRO DE TRABAJO.

- PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE FASE (87)
 - PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA (51N)
 - PROTECCIÓN DE POTENCIA INVERSA (32)
 - PROTECCION DE SECUENCIA NEGATIVA (46)
 - PROTECCIÓN DE PÉRDIDA DE EXCITACIÓN (40)
 - PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE CON RESTRICCIÓN DE VOLTAJE (51V)
 - PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA EN EL ROTOR (64)
 - PROTECCIÓN CONTRA ALTA Y BAJA FRECUENCIA (81)
 - PROTECCIÓN DE SOBRECARGA (49)
 - PROTECCIÓN CONTRA ALTO VOLTAJE (59)
 - PROTECCIÓN CONTRA BAJO VOLTAJE (27)
 - PROTECCIÓN CONTRA PÉRDIDA DE SINCRONISMO (78)
- (ESTA PROTECCIÓN VIENE INCLUIDA COMO UN TERCER AJUSTE EN LA PROTECCIÓN DE PÉRDIDA DE CAMPO)
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES TRANSITORIAS
 - PROTECCIÓN CONTRA FALLA DE DIODOS (DE LA EXCITACIÓN)

PROTECCIÓN CONTRA	DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	AJUSTE TÍPICO
CORTOCIRCUITO	DIFERENCIAL (87)	Pendiente máxima de 25%, con pick up de 10% de la nominal, sin retardo de tiempo
FALLAS A TIERRA	51G	Pick Up de 10 a 20% de la máxima falla a tierra del sistema, con un retardo ajustable de acuerdo a la coordinación de protecciones
POTENCIA INVERSA	32	Ajustar pick up al 5% de la potencia de motorización del turbogenerador. Para Generadores accionados por turbinas de vapor, el pick up varía normalmente de 1.0 a 2.5% de la potencia nominal. Retardo de 2 segundos o más.
DESBALANCE DE CORRIENTES	46	Pick up, ajustarlo de acuerdo al límite dado por el fabricante, para el generador específico, y al tipo de relevador.
PERDIDA DE CAMPO	40	Ajustar de acuerdo al límite dado por el fabricante para la operación del generador en la región de subexcitación (punto 14.1.5) y al tipo de relevador, con un retardo de 1.5 a 2.0 segundos.
RESPALDO CONTRA FALLAS EXTERNAS	51V	El pick up del elemento de corriente ajustarlo al 80% de la corriente que aporta el generador al en el instante en que debe mandar su comando de disparo, si no se tienen datos, seleccionar un pick up de entre 1.2 y 2.0 veces la nominal del generador, con un retardo de tiempo de acuerdo a la coordinación de protecciones. El elemento de voltaje, ajustarlo con un pick up de 80% del voltaje nominal.

FALLA A TIERRA DEL ROTOR	64	Pick up, depende del tipo de relevador, tiempo de disparo entre 1 y 10 segundos.
ALTA FRECUENCIA	81	Ajustar de acuerdo a los limites dados por el fabricante o el punto 14.1.3.
BAJA FRECUENCIA	81	Ajustar de acuerdo a los limites dados por el fabricante o el punto 14.1.3. si solo se tiene un elemento de frecuencia, ajustar el pick up al 95% de la frecuencia nominal (57 Hz)
SOBRECARGA	49	Ajuste depende del tipo de relevador y la constante de tiempo térmica de la máquina.
ALTO VOLTAJE	59	Ajustar pick up al 110% del voltaje nominal, con tiempo de 1.5 a 3.0 segundos. Si se cuenta con disparo instantáneo, ajustarlo al 130% del voltaje nominal
BAJO VOLTAJE	27	Ajustar drop out al 80% del voltaje nominal, con retardo de tiempo de 4 a 6 segundos.
PÉRDIDA DE SINCRONISMO	78	Ajuste depende del tipo de relevador y de la impedancia del sistema en el punto de interconexión con del generador.

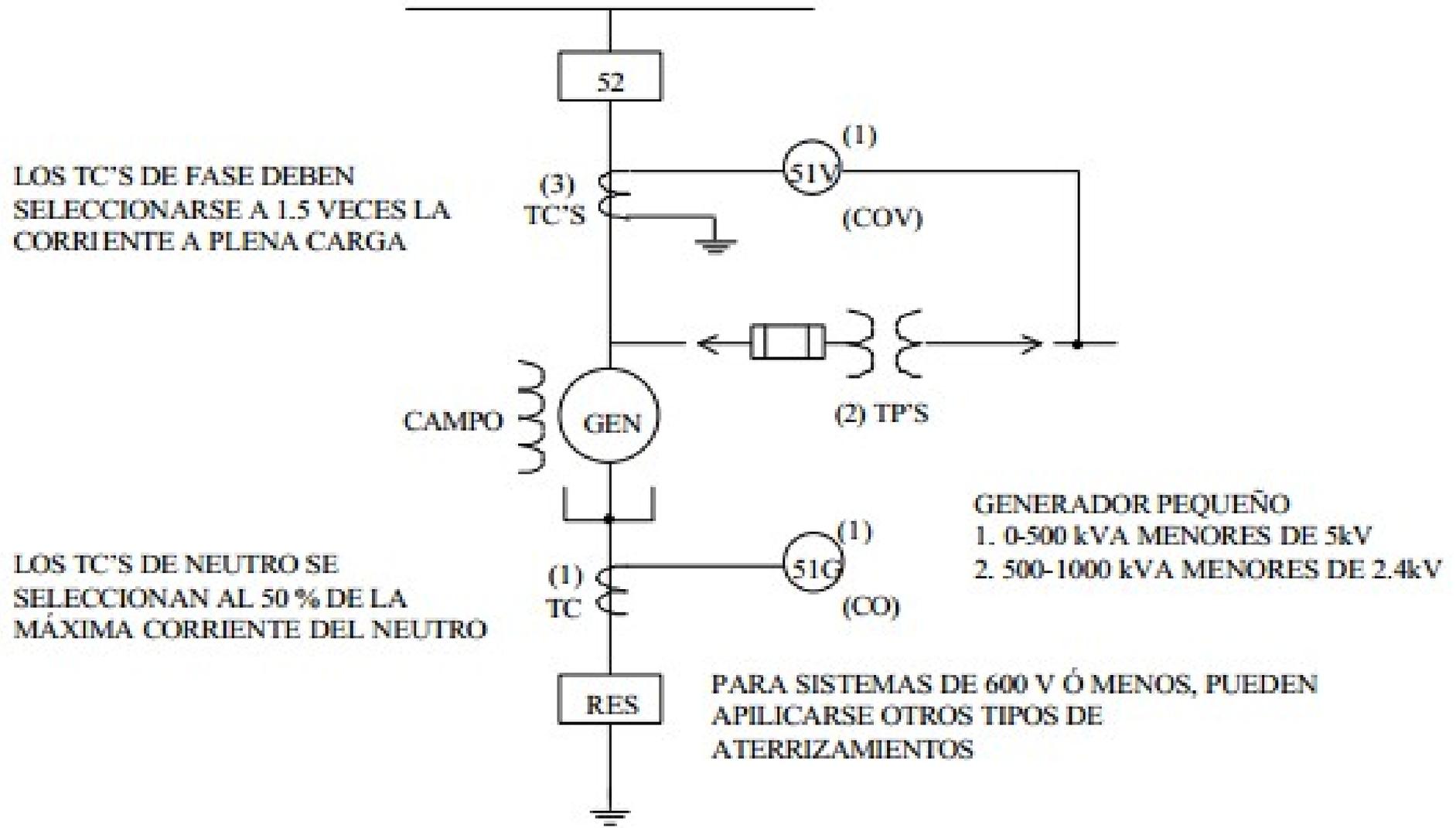
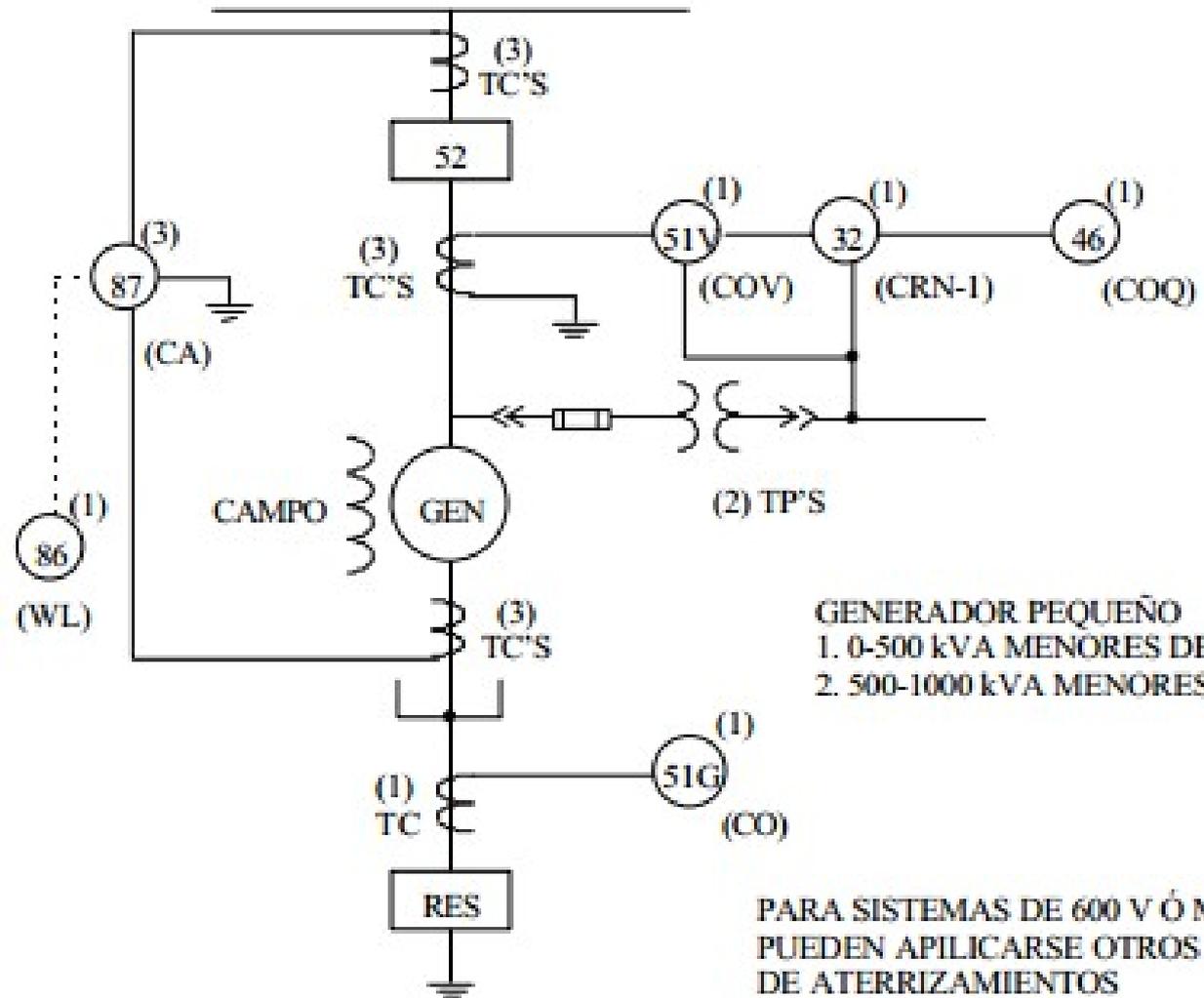


Figura 3.1 Protección mínima para generadores de baja capacidad.

LOS TC'S DE FASE DEBEN SELECCIONARSE A 1.5 VECES LA CORRIENTE A PLENA CARGA

LOS TC'S DE NEUTRO SE SELECCIONAN AL 50 % DE LA MÁXIMA CORRIENTE DEL NEUTRO



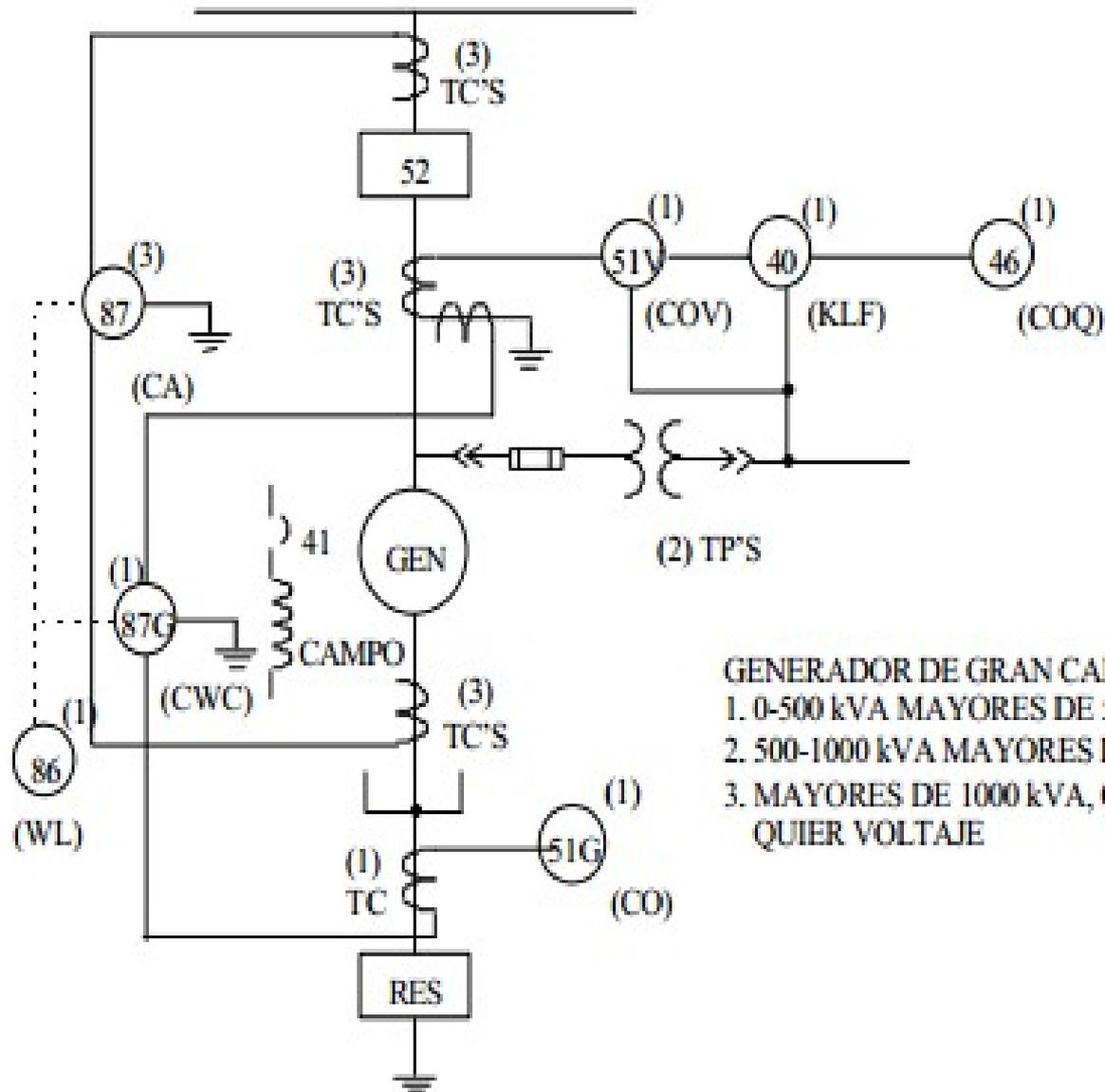
GENERADOR PEQUEÑO
 1. 0-500 kVA MENORES DE 5kV
 2. 500-1000 kVA MENORES DE 2.4kV

PARA SISTEMAS DE 600 V Ó MENOS, PUEDEN APILICARSE OTROS TIPOS DE ATERRIZAMIENTOS

Figura 3.2 Protección recomendada para generadores de baja capacidad.

LOS TC'S DE FASE DEBEN SELECCIONARSE A 1.5 VECES LA CORRIENTE A PLENA CARGA

LOS TC'S DE NEUTRO SE SELECCIONAN AL 50 % DE LA MÁXIMA CORRIENTE DEL NEUTRO



GENERADOR DE GRAN CAPACIDAD
 1. 0-500 kVA MAYORES DE 5kV
 2. 500-1000 kVA MAYORES DE 2.4kV
 3. MAYORES DE 1000 kVA, CUAL-QUIER VOLTAJE

Figura 3.4 Protección mínima para generadores de gran capacidad.

No. DE DISP.	RELEVADOR	FUNCIÓN	AJUSTES RECOMENDADOS Y NOTAS
*32	CRN-1	ANTI-MOTORIZACIÓN	MÍNIMO PICK_UP-0.023 A DIAL 4 APROX. 20 seg. PARA DISPARO.
40	KLF	PÉRDIDA DE CAMPO	DEFINIDO EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA DE LA MÁQUINA.
46	COQ	SECUENCIA NEGATIVA	EN FUNCIÓN DEL VALOR I_2^2t DEL GENERADOR.
51G	CO.5-2.5	TIERRA	TAP A 0.5 Y DIAL COORDINADO.
51V	COV-2-6	RESPALDO DE SOBRECORRIENTE	TAP 2-6 A DIAL COORDINADO EN TIEMPO, AJUSTE DE VOLTAJE 80 V DE FÁBRICA.
64	DGF	TIERRA DEL CAMPO	CONTACTOS AJUSTABLES A 0.15 MA, QUE DESCONECTAN APROX. 1.25 MΩ A TIERRA.
86	WL	BLOQUEO	SIN AJUSTE
87	CA	DIFERENCIAL	DIAL DE POSICIÓN 1.
**87	ITH	DIFERENCIAL	RANGO DE TAP 0.25-0.5 AJUSTE A 0.25 A.
***87	SA-1	DIFERENCIAL	NO REQUERIDO
87G	CWC.25-4	DIFERENCIAL A TIERRA	TAP 0.25-40 PRODUCTO DE TAP 0.25 TAPS EN 0.25 Y X1.

* Para aplicaciones en turbogeneradores diesel y a gas donde no se requiere de tanta sensibilidad, se puede utilizar un relevador del tipo CW.

** Alternativo, vea figura 3.

*** Esquema opcional para generadores de gran capacidad.