CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor

Módulo 3: “Mantenimiento de protecciones en sistemas eléctricos de potencia”

PFMEI-4-01/V.1[PE01-M03/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente del Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Jefe de Proyecto Empresas
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. Está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE. © Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.
Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.

Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educacionales:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.

Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento.....7

Módulo III: Mantención de Protecciones en.....9

Sistemas Eléctricos de Potencia.....9

1. Protecciones eléctricas.....9

1.1 Introducción a protecciones eléctricas 9

1.2 Protecciones eléctricas 10

1.3 Protección de transformadores de potencia..... 11

1.4 Poder de ruptura 13

1.5 Impedancia del sistema..... 17

1.6 Corrientes de cortocircuito 18

1.7 Estaciones unitarias 20

1.8 Relé minero de protección 22

1.9 Software específicos asociados a la función..... 24

1.10 Interpretación y diseño de planos eléctricos 33

1.11 Lógica del proceso a que aplica la función (operaciones unitarias) 47

1.12 Control eléctrico 48

Actividad N°4..... 52

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de **Mantenedor Eléctrico Especialista Equipos Fijos.**

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento de evaluación de proceso".

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10.La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo III: Mantención de Protecciones en Sistemas Eléctricos de Potencia

1. Protecciones eléctricas

1.1 Introducción a protecciones eléctricas

Los Sistemas de Protección se utilizan en los sistemas eléctricos de potencia para evitar la destrucción de equipos o instalaciones por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada. Los sistemas de protección deben aislar la parte donde se ha producido la falla buscando perturbar lo menos posible la red, limitar el daño al equipo fallado, minimizar la posibilidad de un incendio, minimizar el peligro para las personas, minimizar el riesgo de daños de equipos eléctricos adyacentes.

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.

A ello puede agregarse velocidad, seguridad y simplicidad.

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.

Es conveniente que la protección de respaldo esté dispuesto 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.

1.2 Protecciones eléctricas

La protección ideal sería aquella que actuara solamente ante los incidentes para los que ha sido instalada, que lo hiciera en el menor tiempo posible y que su precio fuera mínimo. Evidentemente, este ideal no es fácil de conseguir, por lo que es preciso valorar una serie de aspectos que, generalmente, son opuestos entre sí.

Los requisitos más destacados son:

1. Seguridad. La probabilidad de no actuación de un sistema o componente cuando no debe hacerlo.
2. Obediencia. La probabilidad de actuación de un sistema o componente cuando debe hacerlo.
3. Fiabilidad. La probabilidad de que un sistema o componente actúe única y exclusivamente cuando debe hacerlo. La fiabilidad de un equipo es el producto de la seguridad y la obediencia. Disponer de dos relés en paralelo aumenta la obediencia y disminuye la seguridad del sistema; por el contrario, dos relés en serie aumentan la seguridad y disminuyen la obediencia.
4. Precisión. La respuesta a los valores de entrada.
5. Rapidez. El tiempo invertido desde la aparición del incidente hasta el momento que cierra sus contactos el relé. Solamente será interesante está característica en las aplicaciones en las que no se introducen temporizaciones adicionales. El aumento de la rapidez implica una disminución de la fiabilidad.
6. Flexibilidad. Para adaptarse a cambios funcionales.
7. Simplicidad en el diseño, reduciendo al mínimo el número de funciones e interacciones.
8. Mantenimiento. Reduciendo al mínimo de piezas expuestas al desgaste, evitando el mantenimiento periódico.
9. Facilidad de prueba. Se valora el que el equipo tenga incorporados dispositivos que faciliten su verificación sin que sea necesario desconectar ningún conductor para realizar las pruebas.
10. Auto diagnóstico. La incorporación de funciones de auto verificación en la protección. Esta es una de las ventajas que aportan las protecciones digitales.

A continuación veremos las protecciones propias de transformadores de potencia, líneas de transmisión de alta tensión y protecciones eléctricas de generadores síncronos.

1.3 Protección de transformadores de potencia

Protecciones propias del transformador.

También denominadas protecciones mecánicas del transformador, estos aparatos se instalan para detectar anomalías y defectos internos, para fallos externos al transformador o por efectos eléctricos como cortocircuitos o sobrecargas se utilizaran protecciones diferenciales las cuales se explican en el capítulo de protecciones.

A continuación se exponen las protecciones propias de transformador más utilizadas:

- Relé de Buchholz (63): detecta faltas internas del transformador como fugas de aceite o acumulación de gases, en consecuencia provoca una alarma que sólo produce un aviso en el sistema de P&C o un disparo que por medio de un relé de disparo y bloqueo manda abrir los interruptores que aíslan el transformador.

- Válvula de sobrepresión: se instala en transformadores que tienen un líquido como aislante, evita que se produzcan rupturas por presiones elevadas liberando la presión excesiva e impidiendo la entrada de agentes externos. Dispone de un nivel de alarma y otro de disparo que actúan de la misma forma que en el caso anterior.

- Protección de imagen térmica (49): mide la temperatura del punto más caliente del arrollamiento, lo hace midiendo la corriente que lo atraviesa. Tiene niveles de alarma y disparo.

- Temperatura del aceite (26): mide la temperatura del aceite cerca de la parte superior del transformador. Tiene niveles de alarma y disparo, a través de un relé de disparo y bloqueo.

- Indicadores de nivel de aceite (71): se encuentra en el depósito de expansión y proporciona alarma por bajo y alto nivel de aceite.

Los defectos que hacen alcanzar el nivel de disparo a estas protecciones son tan graves que obligan a separar totalmente el transformador de la red eléctrica, desconectando los interruptores de todos sus devanados.

Esto se consigue uniendo todos estos disparos junto con la protección diferencial de transformador y opcionalmente las protecciones de sobre intensidad sobre un relé de disparo y bloqueo con rearme manual o eléctrico (86).

Tras la apertura de los interruptores mediante contactos normalmente abiertos, otros contactos normalmente cerrados de este relé se abren para bloquear el cierre de los interruptores hasta que una vez solucionado el defecto sea posible el rearme.

Es deseable que el sistema de protección y control capture todas las alarmas y disparos de las protecciones propias del transformador así como la actuación del relé 86, que

también por lógica digital impedirá el cierre de los interruptores. Si no se dispone de tantas entradas binarias, pueden agruparse informaciones afines, diferenciando siempre por la magnitud medida y el nivel de reacción.

Con este planteamiento, cada equipo debería contar con tres contactos normalmente abiertos y libres de tensión para: la información de alarma, disparo y actuación sobre el relé de disparo y bloqueo.

Por otra parte, se necesitarían más contactos si en instalaciones de alta y muy alta tensión se requieren dos relés de disparo y bloqueo independientes (86-1 y86-2), cada uno de ellos actuando sobre la primera y segunda bobina de disparo del interruptor, respectivamente.

En los esquemas eléctricos de los sistemas de protección y control generalmente se monta un relé auxiliar multiplicador del contacto de disparo, obteniendo así todo lo necesario para las funciones de control y protección.

Protecciones externas de transformadores y subestaciones.

Protecciones de sobretensiones.

Las descargas atmosféricas y también ciertas maniobras de apertura y cierre de interruptores, pueden dar lugar a que la tensión en determinado punto del sistema aumente a valores varias veces por encima del valor nominal. Se dice entonces que se ha producido una sobretensión. Tal fenómeno por ser normalmente una variación brusca, se propaga a través de los conductores (líneas), llegando a afectar a partes del sistema alejadas del origen de la perturbación. Una tensión anormalmente alta podrá dar lugar a que se supere el nivel de aislamiento de ciertos elementos, provocando mal funcionamiento del sistema e incluso averías.

Para evitar tales perjuicios se instalan descargadores de sobretensión también conocidos como auto válvulas o pararrayos. Su función consiste en mantener la tensión entre sus terminales por debajo del valor de tensión correspondiente al nivel de aislamiento del equipo protegido.

En las subestaciones GIS (tipo encapsulado) se instalan en el exterior en los puntos de conexión de las líneas aéreas con la subestación, de cualquier modo también se pueden instalar en módulos aislados, formando parte de la instalación GIS.

El descargador dispone de un registro a través del cual es posible abrir el conductor interior para ensayos en la subestación, también tiene terminal con la finalidad de monitoreo de gas y dispositivos de control del descargador.

1.4 Poder de ruptura

Poder de ruptura: Se conoce como poder o capacidad de ruptura a la capacidad que tiene un aparato de protección, interruptor de potencia o fusible, de asumir a una corriente de cortocircuito. “Asumir” significa soportar, dominar y desconectar a una corriente de falla.

Introducción a la corriente de cortocircuito.

Una corriente de cortocircuito es una sobrecorriente que supera por lo menos veinte veces la corriente nominal de un circuito. Por lo tanto, el concepto de corriente de cortocircuito no es un concepto absoluto sino uno relativo.
En el caso de un circuito que está calculado para una corriente de 4 A (por ejemplo el circuito de comando de un grupo de contactores en un tablero centro control de motores) una corriente con una intensidad de 100 A se considera como de cortocircuito (100 A/ 4 A= 25 veces).

En cambio, si el circuito está calculado para 400 A (supongamos a las barras generales del mismo tablero) una corriente con la misma intensidad de 100 A es una corriente tan baja que ni llega a sobrecargarlo. Se produce un cortocircuito cuando la resistencia de contacto entre las dos líneas de alimentación al circuito se aproxima a cero (es muy baja). En ese caso si la resistencia tiende a cero, la corriente en el circuito tiende a infinito.

Como $I(A) = \frac{V(V)}{R(\Omega)}$, Si $R \rightarrow 0\ (\Omega)$, entonces $=> I \rightarrow \infty\ (A)$

El cableado del circuito no está calculado para una corriente tan elevada, debe ser protegido.

En realidad, la corriente de cortocircuito nunca será de valor infinito, ya que la fuente nunca será capaz de entregar tal intensidad de corriente y, además, hay que considerar la impedancia del conductor de alimentación del circuito que la limita fuertemente. Por eso, un corriente de tan sólo 100 A puede ser una corriente de cortocircuito, siendo este un valor muy lejano a infinito.

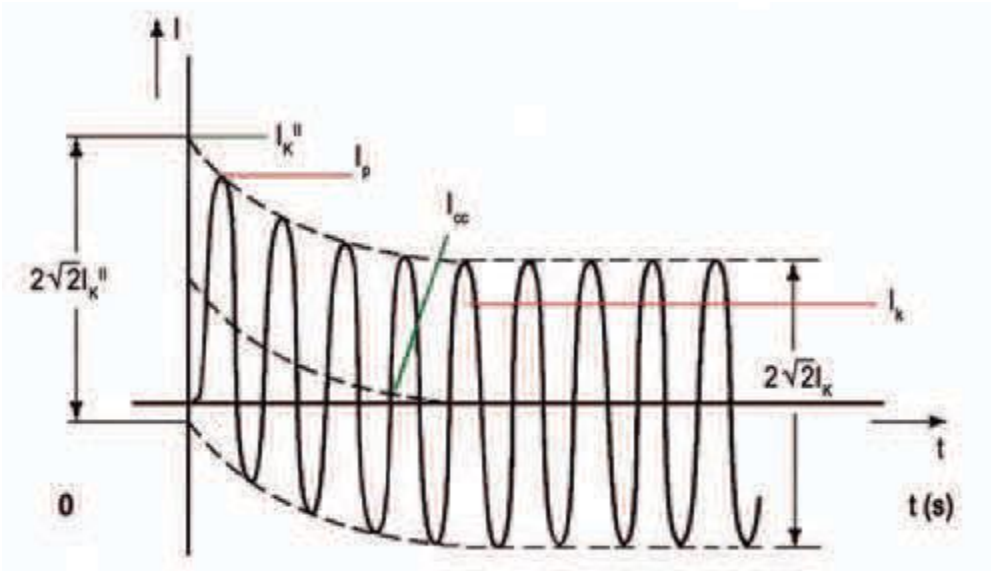


Figura 1
Desarrollo de una corriente de cortocircuito.

Al producirse un cortocircuito, la corriente resultante sufre tres procesos antes de establecerse.

- Primero se produce una corriente sub transitoria que dura menos de un ciclo,
- Luego una corriente transitoria que dura entre diez y veinte ciclos, y finalmente
- La corriente permanente de cortocircuito.

Cuando hacemos un cálculo de la corriente de cortocircuito nos referimos al valor eficaz de la corriente permanente (Ik) de la misma, y a ese valor están referidos los datos de los aparatos de protección.

Los valores transitorios y subtransitorios se deben fundamentalmente a que es imposible que una corriente pase de un valor a otro instantáneamente (fenómeno de inercia); existe un periodo de adaptación y acomodamiento de las variables eléctricas que producen a una componente de corriente continua (Icc) que se suma al valor permanente de la corriente de cortocircuito y conduce a un pico de la misma (Ip).

La componente de corriente continua varía según el factor de potencia del circuito y al punto en que estaba la onda de corriente en el momento que se produjo la falla.
Según sea la componente de corriente continua el valor de pico de la corriente de cortocircuito puede tomar un valor de dos veces el pico de su corriente permanente.

$$I_p = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k$$

Así como la corriente permanente de cortocircuito somete a efectos térmicos extraordinarios a los conductores ya los aparatos involucrados en el circuito, la corriente de pico (Ip) es la que define a los esfuerzos electrodinámicos a los que se verá sometida la instalación y que deben ser resistidos por el aparato de protección correspondiente.

Capacidad de ruptura

La capacidad de ruptura de un aparato de protección contra cortocircuitos es la capacidad que tiene este de soportarla sin dañarse, controlarla y desconectarla (asumirla).

Los interruptores manuales, los de simple efecto, los de maniobra de motores y los contactores, no tienen capacidad de ruptura, sino una cierta capacidad de desconexión, y deben ser protegidos. Algunos de estos aparatos tienen la capacidad de resistir a una corriente de cortocircuito, pero no de abrirla.

Los aparatos de protección capaces de dominar a una corriente de cortocircuito son los interruptores automáticos y los fusibles. Sólo ellos pueden detectar a una corriente de falla y desconectarla.

La capacidad de ruptura de un aparato de protección contra cortocircuitos se define como aquella presunta corriente de cortocircuito que se produciría en un punto de la red si el aparato no estuviera.

La capacidad de ruptura de un aparato se mide cortocircuitando sus bornes de salida y alimentando a sus bornes de entrada con un metro de conductor de la sección máxima permitida por los mismos.

La capacidad de ruptura de un aparato se define si éste es capaz de resistir los ensayos que impone la Norma según la que está diseñado y fabricado. Es por eso que para un mismo aparato se pueden informar distintas capacidades de ruptura.

Interruptores que cumplen con IEC60 898

Estos son los pequeños interruptores automáticos (PIA) también conocidos por su sigla en inglés como MCB (mini circuit breaker).

Dado que estos interruptores están diseñados para ser instalados en el ámbito domiciliario y comercial; su Norma es muy exigente en sus ensayos. Establece que los interruptores deben cumplir con un ciclo de ensayos del tipo: O – t – O – t – O – t – O – t – O – t – O – t – CO– t – CO – t – CO.

Dónde:

“O” significa abrir la corriente de ensayo
“t” significa tiempo de espera y
“C” significa cierre del interruptor

Como se ve, el interruptor debe abrir seis veces la corriente de falla para luego cerrar tres veces sobre un cortocircuito de 500 A que debe dominar con éxito.

Superado el ensayo anterior con una corriente de 1500 A debe cumplir con un ciclo O-t-O-t-CO para uni/bipolares o O-t-CO-t-CO para tri/tetrapolares. Y por fin con el valor de poder de corte asignado (por ejemplo 6000 A) un ciclo O-t-CO.

Para aprobar el ensayo, luego de esta serie, el interruptor puede quedar inutilizable, pero no debe haber sufrido daños mecánicos.

De esta manera se define la capacidad de ruptura nominal (Icn) del pequeño interruptor automático.

Interruptores que cumplen con IEC60 947-2.

Estos son los interruptores automáticos de potencia.

Pueden ser los interruptores para la protección de motores (MSP) conocidos como guarda motores, para lo cual debe cumplir además con IEC60 947-4; los interruptores compactos en caja moldeada (MCCB) y los interruptores abiertos (ACB).

Esta Norma define tres tipos de capacidades de ruptura.

Capacidad de ruptura última (Icu)
Para definirla el ensayo cumple con dos ciclos del tipo O– t – CO. El interruptor puede quedar dañado, debe ser reemplazado.

Capacidad de ruptura de servicio (Ics).

Para definirla el ensayo cumple con tres ciclos del tipo O– t – CO – t – CO. El interruptor debe permanecer en servicio.

1.5 Impedancia del sistema

Transformadores.

La resistencia de los transformadores grandes es despreciable comparada con su reactancia de filtración para las condiciones de trabajo correspondientes con los cortocircuitos, por lo que si se desprecian las pequeñas diferencias en la reactancia de filtración a las diferentes secuencias, (que dependen del tipo de núcleo magnético, acorazado, columna, etcétera) se podrá suponer que

$X_1=X_2=X_0$.

Máquinas sincrónicas.

Impedancia de secuencia Positiva: Las máquinas rotatorias, sean sincrónicas o no son elementos activos, por lo que sus impedancias a las tres secuencias son diferentes presentando tres impedancias a la secuencia positiva**:** la subtransitoria, la transitoria y la sincrónica.

Impedancia de secuencia negativa.- Si se aplica a los devanados de la máquina sincrónica que gira a velocidad sincrónica un sistema de voltajes de secuencia negativa a 60 Hz, producirá dentro de la máquina un flujo rotatorio que se mueve a velocidad sincrónica contraria al movimiento del rotor, por lo que inducirá en los devanados amortiguadores y del rotor corrientes de doble frecuencia que se oponen a que el flujo del estator penetre en el campo y en los devanados compensadores teniendo un recorrido fundamentalmente por el aire, muy parecido al que se produce en el caso subtransitorio, por lo que la reactancia de secuencia negativa se corresponderá, en valores con la subtransitoria de secuencia positiva fundamentalmente, en las máquinas de rotor saliente.

Impedancia de secuencia cero. Si se aplica a los devanados de una máquina sincrónica un sistema de voltajes de secuencia cero, como los devanados de las tres fases están ubicados espacialmente a 120 grados uno del otro y las corrientes están en fase, el flujo que se produce internamente en la máquina está desfasado 120 grados y su suma es muy pequeña por lo que las concatenaciones de flujo por unidad de corriente en este caso serán las menores de todas y el valor de la reactancia de secuencia cero de la máquina sincrónica será la de menor valor.

La siguiente Figura muestra algunos valores típicos de reactancias en porcentaje de generadores sincrónicos de dos polos.

Secuencia.	Valores en Porcentaje
Positiva.	Subtransitoria: X''_d= 9
	Transitoria : X'_d= 15
	Sincrónica : X_d= 120
Negativa.	Sec. Negativa : X_2= 9
Cero.	Sec. Cero : X_0= 3

Valores típicos de reactancia de una máquina sincrónica de dos polos.

Resumen: Las impedancias de secuencias positiva y negativa de los elementos lineales bilaterales y pasivos son iguales entre sí, no sucediendo así con la secuencia cero. Para los circuitos activos, como el caso de las máquinas rotatorias, las tres impedancias de secuencias son diferentes, existiendo además, debido al efecto de la reacción de armadura, tres impedancias de secuencia positiva.

1.6 Corrientes de cortocircuito

Consideramos cortocircuito todo contacto accidental entre dos o más conductores y/o tierra. La conexión puede ser directa aunque normalmente se produce a través de un arco eléctrico.

Este tipo de perturbación puede ocasionar grandes averías en la instalación por la dificultad que supone el corte de un arco eléctrico. Las consecuencias de los cortocircuitos son muy graves debido al rápido y elevado aumento de la corriente eléctrica. El calentamiento excesivo puede provocar destrucción del material, otros de los efectos son la caída de tensión que perturba el sistema eléctrico y esfuerzos electromecánicos elevados que pueden dar lugar a deformaciones por tensiones mecánicas.

Existen cuatro tipos de cortocircuitos según las partes de la instalación que se pongan en contacto:

- Monofásico a tierra: un conductor que entra en contacto con tierra. Es el más frecuente.
- Bifásico: dos fases entran en contacto. Cuando se produce junto al generador es el que provoca mayores corrientes.
- Bifásico a tierra: dos fases entran en contacto con tierra.
- Trifásico: las tres fases entran en contacto. Es el que provoca las corrientes más altas.

Aunque los cortocircuitos tienen cada vez menos posibilidades de producirse en instalaciones modernas bien diseñadas, las serias consecuencias que pueden tener son un estímulo para instalar todos los medios posibles a fin de detectarlos y eliminarlos rápidamente.

Se debe calcular la corriente de cortocircuito en distintos puntos del sistema eléctrico para diseñar los cables, las barras, y todos los dispositivos de conmutación y protección, así como para determinar su configuración.

Protección contra cortocircuitos.

Un cortocircuito es la unión directa de dos conductores con tensión entre sí. Por la ley de Ohm, al ser cero la resistencia, la intensidad tiende a infinito, peligrando la integridad delos conductores y máquinas por el calor generado debido al efecto Joule. En realidad la intensidad queda limitada por la resistencia de los propios conductores pero, al ser muy pequeña, la intensidad sigue siendo muy grande. Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos son los *fusibles calibrados*, también llamados cortacircuitos, y los interruptores automáticos magneto térmicos.

Corrientes de cortocircuito de momentánea en interruptores de poder

Es el valor máximo efectivo que debe soportar el interruptor sin que sufra un deterioro, debe ser capaz de soportar el paso de esta corriente en los primeros ciclos cuando se produce la falla (1 a 3 ciclos). Entre estas corrientes deben especificarse los valores simétricos y asimétricos.

Corrientes de cortocircuitos de interrupción en interruptores de poder.

Es el máximo valor efectivo medido en el instante en que los contactos comienzan a separarse. Esta corriente corresponde a un cortocircuito trifásico o entre líneas con tensión y ciclo de trabajo nominal. Entre estas corrientes deben especificarse los valores simétricos y asimétricos de interrupción.

a) La capacidad de interrupción simétrica

Es la máxima corriente RMS de cortocircuito sin considerar la componente continua que el interruptor debe ser capaz de cortar en condiciones de voltaje nominal y ciclo de trabajo normal. Para una tensión de operación diferente al valor nominal, la corriente de interrupción está dada por la ecuación siguiente:

$$I_{interrupciónsimétrica} = I_{interrupciónsimétricanominal} \cdot \left[\frac{V_{nominal}}{V_{operación}}\right]$$

b) La capacidad de interrupción asimétrica

Corresponde al valor RMS de la corriente total (incluida la componente continua) que el interruptor debe ser capaz de interrumpir en condiciones de voltaje y ciclo de trabajo nominal.

1.7 Estaciones unitarias

En los últimos años, la generación, transmisión, transformación, distribución y comercialización de la energía eléctrica no ha sufrido grandes cambios, por lo que los equipos utilizados para estos fines, realmente no han tenido cambios sustanciales en su diseño o fabricación, en esencia se puede decir que estos equipos son y seguirán siendo los mismos a mediano y quizá a largo plazo.

Uno de estos equipos son las llamadas subestaciones unitarias o compactas, cuyo propósito es transformar, controlar y regular la energía eléctrica en una instalación de media tensión. Por su diseño, este tipo de subestaciones se utilizan en: edificios de apartamentos, comercios, hospitales, minería e industria semi pesada en general.

Estas subestaciones presentan ciertas ventajas como: El reducido espacio que ocupan, máxima seguridad, al estar confinadas las partes energizadas y pueden ser removidas según sea requerido.

Otro punto importante es que cada vez más usuarios requieren alta continuidad en su servicio, a costos más accesibles, y una forma de lograrlo es contratando un servicio en media tensión (13.8, 23 y 34.5 kV), para el cual están destinadas estas subestaciones.

Figura 2
2 modelos de subestación unitaria.

Para especificar y solicitar una subestación unitaria a proveedores, se puede utilizar la sencilla forma descrita a continuación.

a.- Posición de Acometida: *Izquierda____* *Derecha____*

b.- Para Servicio: *Interior____* *Intemperie____*

c.- Voltaje de Operación: *13.8 kV____* *23 kV____* *34.5 kV____*

d.- Corriente nominal de la Subestación: *_____Amp.*

e.- Celdas adicionales: *Medición____* *Derivados____*

f.- Acoplamiento a: *Transformador____* *Cable____*

g.- Para configuraciones especiales consultar a proveedor.

1.8 Relé minero de protección

Relés de protección.

Los relés de protección son derivados de los relés de medición, los cuales por su funcionamiento rápido y automático, hacen posible la agrupación.

Los relés de protección deben responder a diversas exigencias:

- Consumo propio reducido.
- Sensibilidad.
- Capacidad de soportar cortocircuitos sin deformarse.
- Exactitud de los valores de funcionamiento.
- Indicación de los valores de funcionamiento mediante señales ópticas.
- Posibilidad de transmisión de los valores medidos para la indicación a distancia

El funcionamiento general de los relés de protección es tal que, al sobrepasar o descender por debajo de un valor de la magnitud de acción que ellos vigilan, hace dispararse al interruptor de potencia.

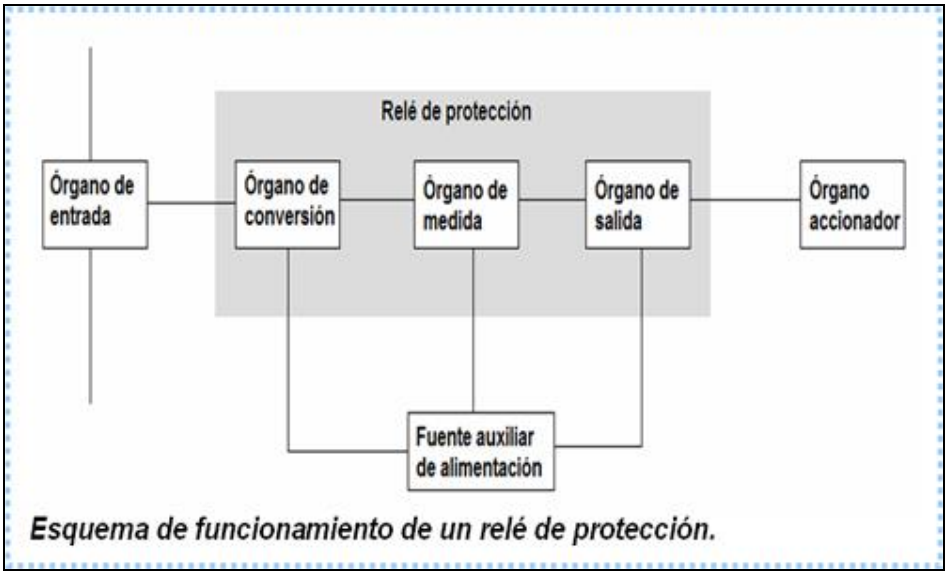


Figura 3

Principio de funcionamiento de un relé de protección.

Tipos de relé de protección y vigilancia de líneas y redes.

Según su funcionamiento los relés de protección pueden ser:

- Sobre intensidad.
- Mínima y máxima tensión.
- Vigilancia de contactos a tierra.
- Diferenciales.
- Distancia.

Relé minero.

La Figura 4, muestra un relé minero de un fabricante, que muestra las principales prestaciones de la que es capaz de entregar.

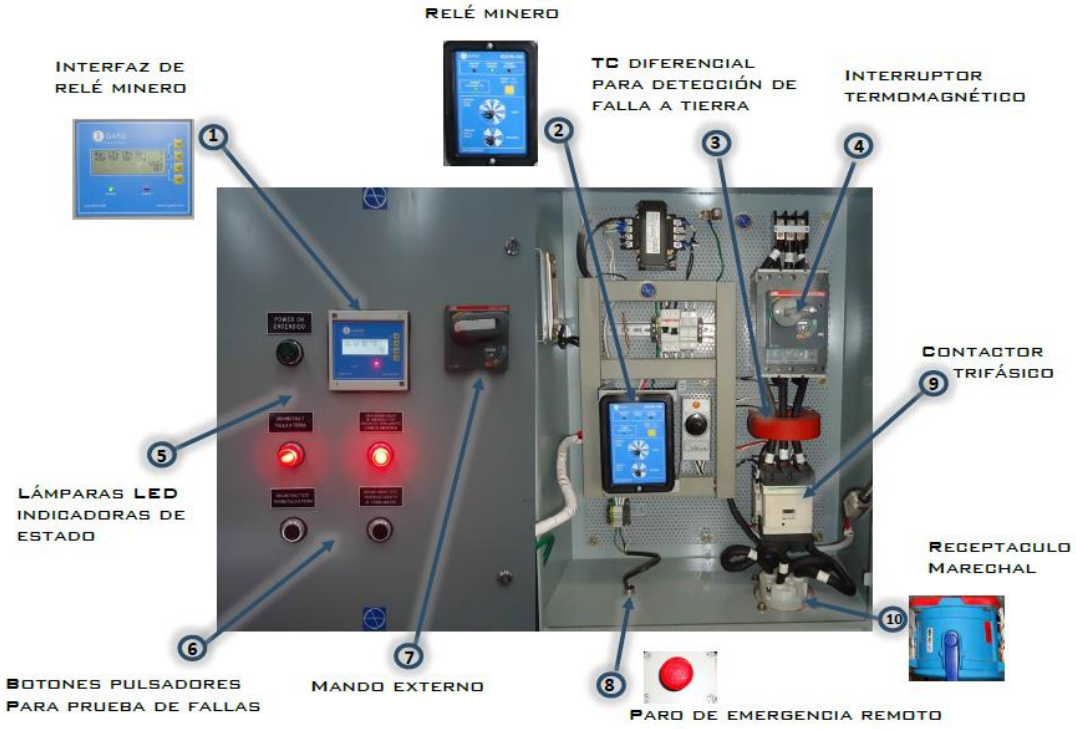


Figura 4
Relé minero de protección eléctrica.

La integración del relevador REF615 de la marca ABB en las Subestaciones Móviles TSM ofrece un juego completo de funciones de monitoreo y medición de energía como lo son:

- F.P.
- Potencias.
- Corrientes y Tensiones.
- Diagramas Fasoriales y de Secuencia.
- Oscilografía.

- Registro de Eventos 1024.
- Registros de Falla.

Además de una amplia gama de protecciones que incluyen:

- Sobre corrientes.
- Sobretensiones.
- Protección por arco eléctrico.

El puerto de comunicación Ethernet permite la integración de la Subestación a su red local o internet para su operación y monitoreo remoto, visualización de parámetros, garantizando así la seguridad, continuidad del servicio, confiabilidad y la integridad del equipo eléctrico, siendo este un valor agregado que ofrecemos a ustedes en nuestras Subestaciones Móviles.

1.9 Software específicos asociados a la función

Sistemas de protección en base a electrónica convencional.

Este sistema mide por integración los valores instantáneos de la magnitud de entrada. La aplicación de la electrónica al campo de los sistemas de protección ha permitido desarrollar una nueva gama de tipos de protección, así como mejorar sus características de funcionamiento, tanto en precisión como en rapidez como asimismo en fiabilidad y duración. Otra novedad es la construcción modular de los equipos, lo que ha permitido reducir el volumen y simplificar el diseño al existir módulos defunciones específicas que se pueden utilizar para diversos tipos de protección.

Sistemas de protección en base a electrónica digitalizada.

Con la aparición de los primeros microprocesadores, a finales de los años sesenta, los fabricantes de protecciones comenzaron a diseñar sistemas basados en microprocesadores y a aprovechar los desarrollos en tecnología de comunicaciones por fibra óptica que transmiten gran cantidad de información a alta velocidad.

La diferencia fundamental entre las protecciones digitalizadas y las electrónicas es que las segundas realizan la medida de manera analógica, mientras que las digitales la realizan por medio de unos algoritmos que operan con los valores instantáneos de la señal de entrada. Para ello es necesario disponer de una unidad que realice un muestreo de esta señal y de un convertidor analógico-digital.
Las principales ventajas que presenta la introducción de los microprocesadores en estos sistemas son:

- Facilidad para incorporar autodiagnósticos y funciones automáticas de inspección, lo cual presenta una gran mejora en la fiabilidad y la seguridad. La supervisión continua permite la verificación de los circuitos de la CPU, memorias, dispositivos de ajuste y elementos de entrada y salida.
- Mejora de características. La complejidad de los sistemas eléctricos requiere unas sofisticadas características en los equipos de protección que implican una gran cantidad de hardware cuando se utilizan relés convencionales y en el caso de relés digitales, la consecución de una característica determinada es sólo problema de software.
- Mejora de la flexibilidad y la aplicación. En los relés de protección digitales las funciones del relé son realizadas en la medida de lo posible por software, y por tanto se pueden normalizar varios tipos de relés que tengan idéntico hardware.
- Reducción del conexionado entre equipos. La utilización de microprocesadores posibilita la realización de sistemas jerarquizados en las que las tradicionales uniones entre equipos que precisan un conductor para cada una de las señales, se sustituyen por comunicaciones en serie en las que un solo par de conductores pueden transmitir la totalidad de la información.

Para la determinación de coordinación de protecciones eléctricas adecuadas en líneas de transmisión, transformadores, motores, etc., es muy usado el software ETAP. Dada la versatilidad y biblioteca técnica con la que cuenta.

ETAP, según lo indica su fabricante y creadores, es la más completa herramienta de análisis para el diseño, simulación y operación de la generación, transmisión, distribución y sistemas de potencia industriales. Desde el cálculo de cortocircuito hasta estudios avanzados de estabilidad transitorios, ETAP es la solución más flexible y completamente integral.

Ingenieros, Operadores y administradores en miles de compañías alrededor del mundo ponen su confianza en ETAP; el único programa de alto impacto para Ingeniería Eléctrica que cumple con los ampliamente aceptados y firmemente establecidos estándares de verificación de calidad para plantas nucleares.

Algunos de los módulos del ETAP son listados a continuación:

- Short-Circuit ANSI/IEC
- Arc Flash IEEE 1584
- Load Flow
- Motor Acceleration
- Ground Grid Systems
- Harmonics
- Single Phase & Panel Systems
- Device Coordination/Selectivity (Star)
- Unbalanced Load Flow
- Reliability Assessment
- Optimal Capacitor Placement
- Optimal Power Flow

- Transmission Line – Sag & Tension
- Transmission Line - Ampacity
- High Voltage DC Systems
- Transformer Sizing & Tap Optimization
- GIS Map
- Advanced Monitoring
- Real-Time Simulation
- Event Playback
- Intelligent Load Shedding
- Supervisory & Advisory Control
- Transient Stability
- Parameter Estimation
- Generator Start-Up
- User-Defined Dynamic Model

En la Figura siguiente, se muestra un ejemplo de su despliegue y aplicación.

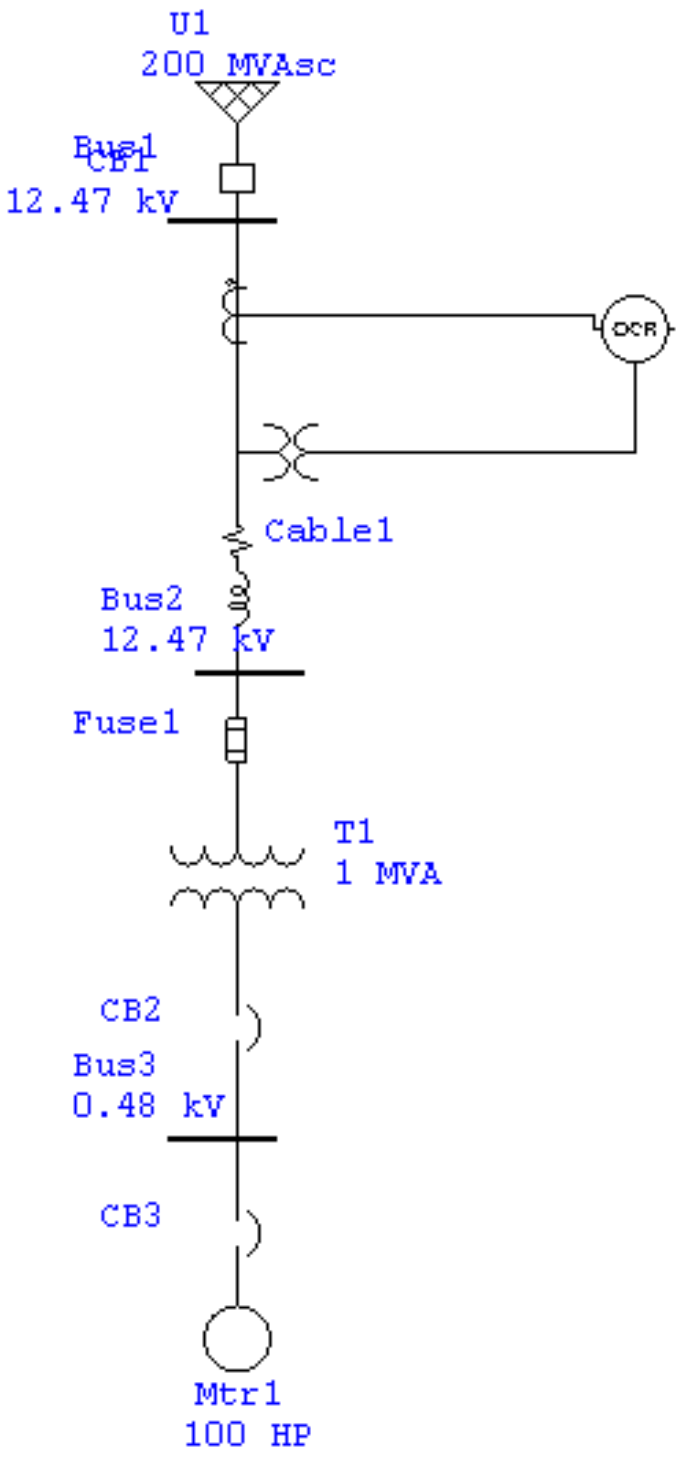


Figura 5
Diagrama unilineal de protección y coordinación con ETAP 5.5.6.

Ejemplo de aplicación:

Paso Nº 1 Entrada de datos de equipos y cable.

Entrada de Datos.

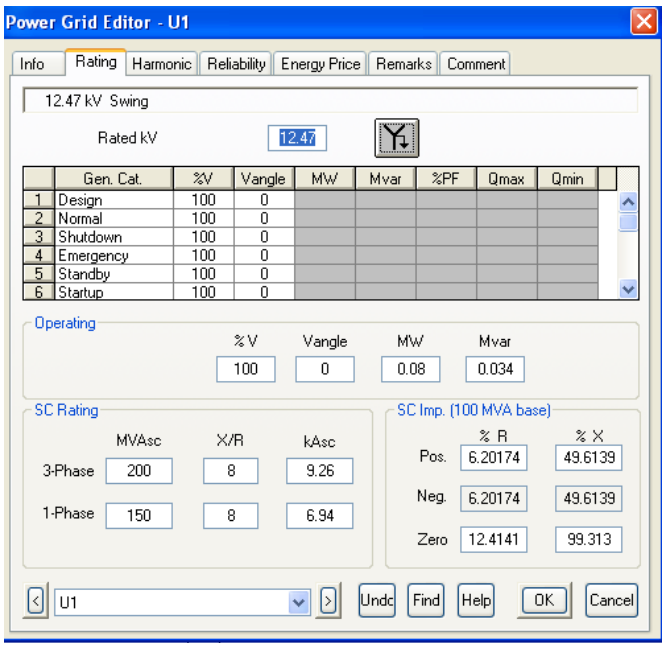


Figura 6
Datos de entrada de interruptor de poder de Alta tensión.

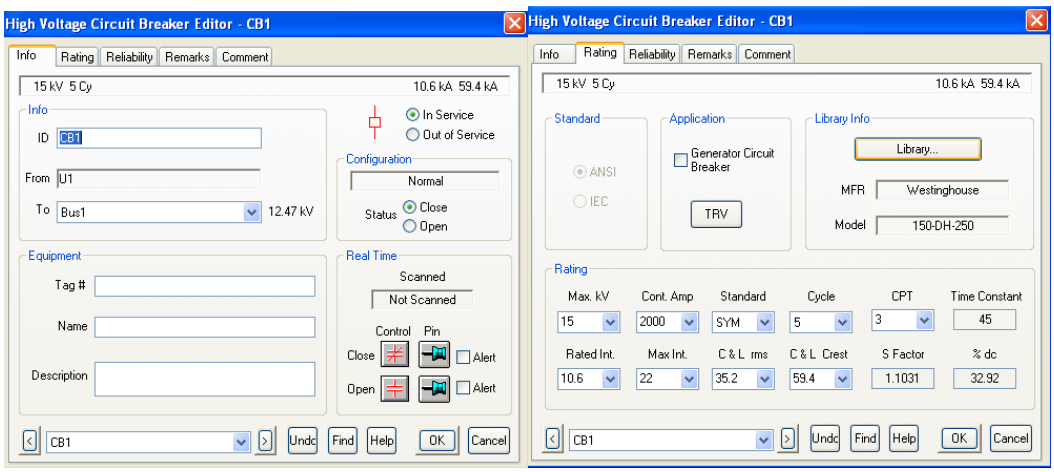


Figura 7
Datos de entrada de interruptor de poder de baja tensión.

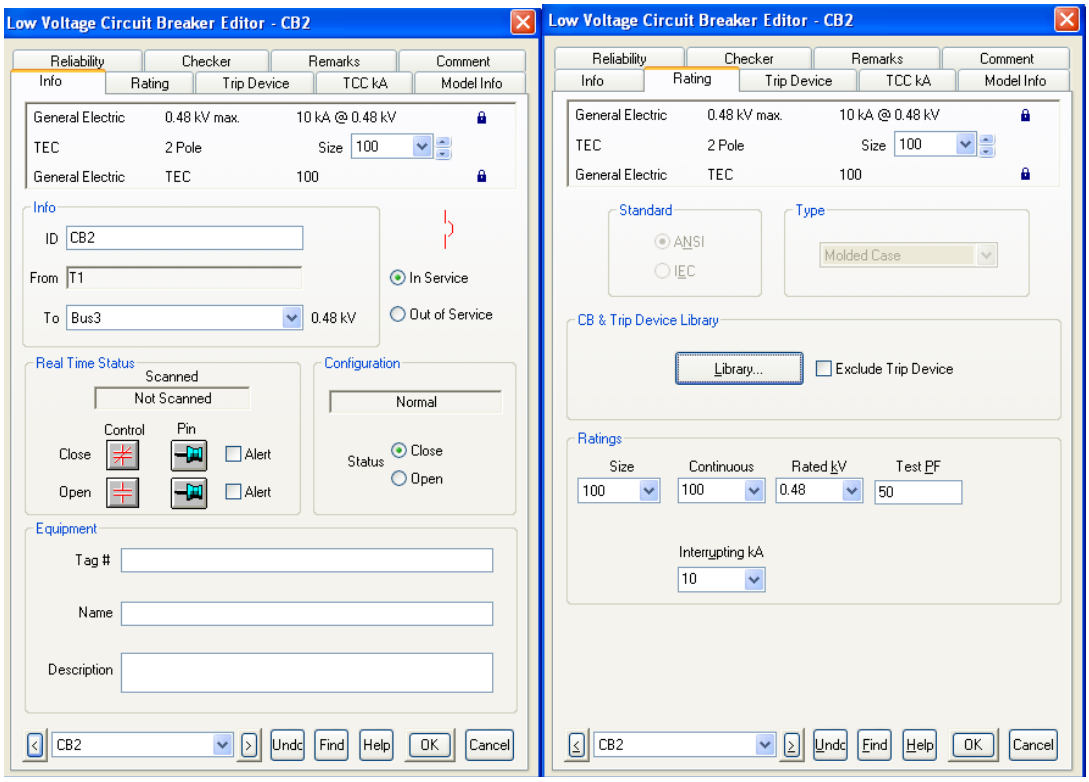


Figura 8
Datos de entrada de fusibles

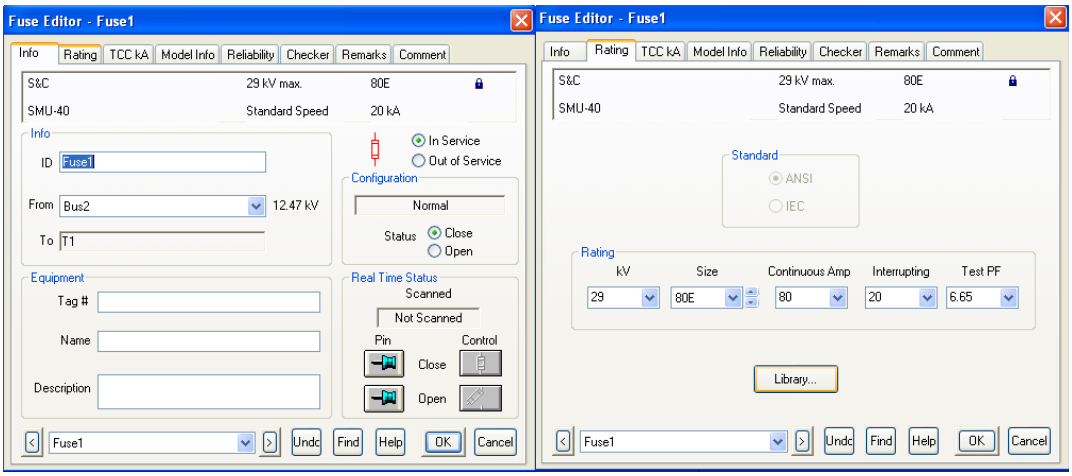


Figura 9
Ajuste de relés de sobre corriente.

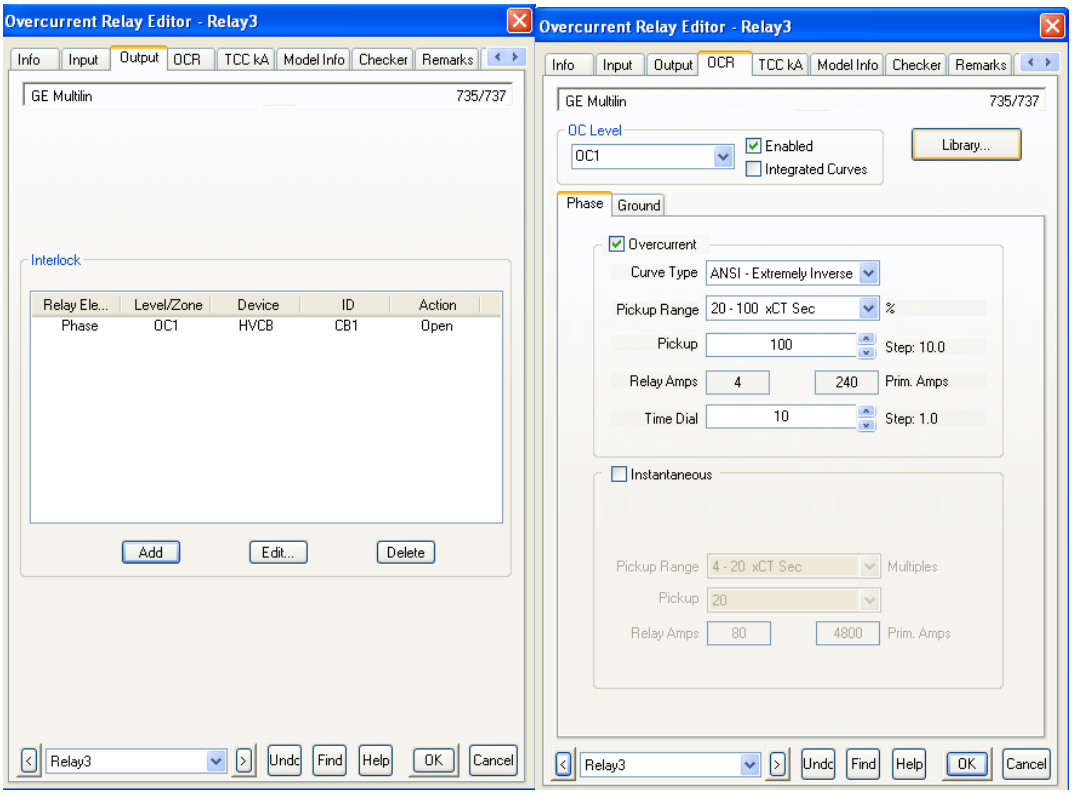


Figura 10
Ingreso de datos de transformadores de corriente.

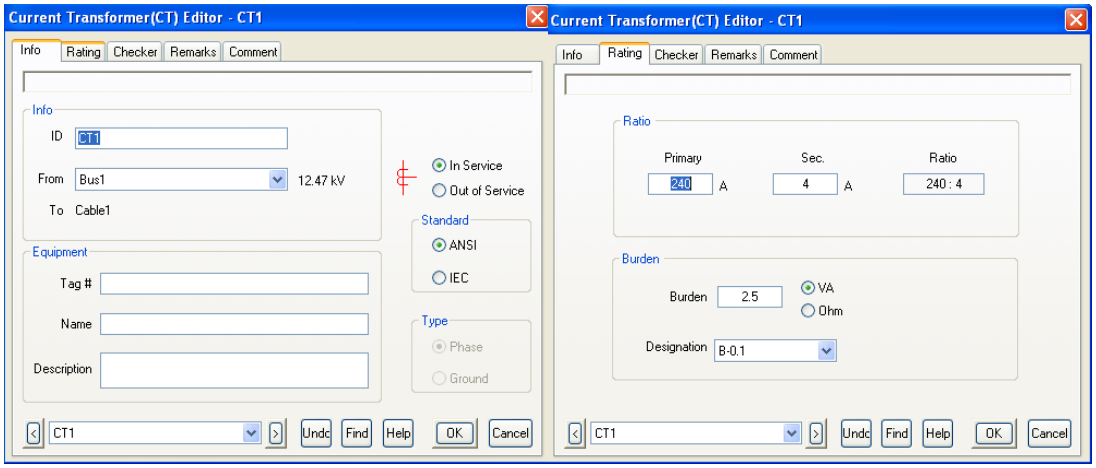


Figura 11
Transformador de potencial.

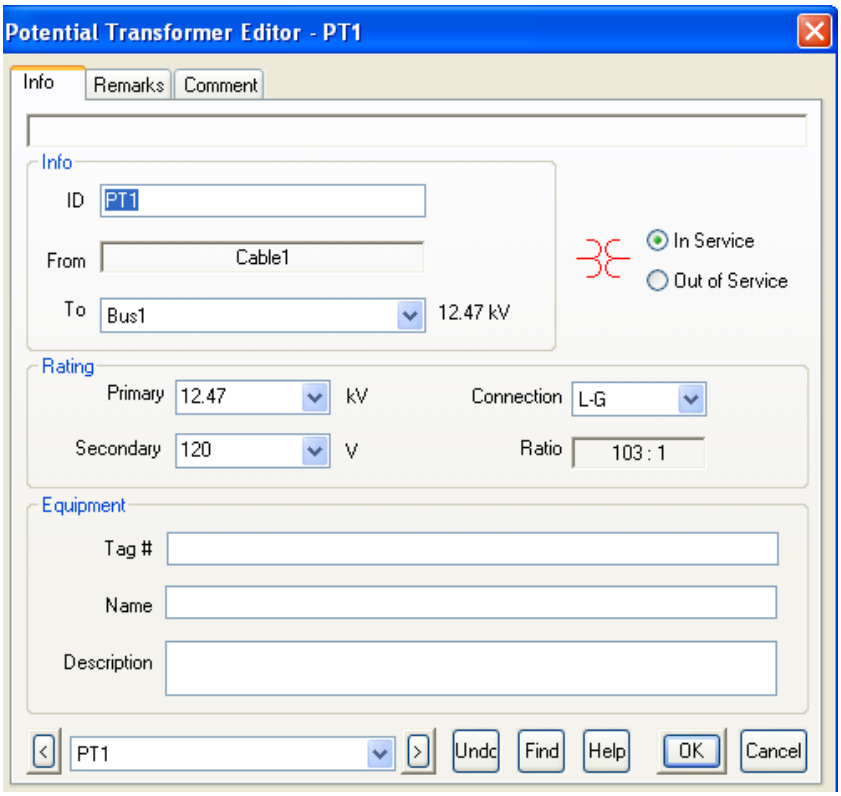


Figura 12
Bobinados del transformador

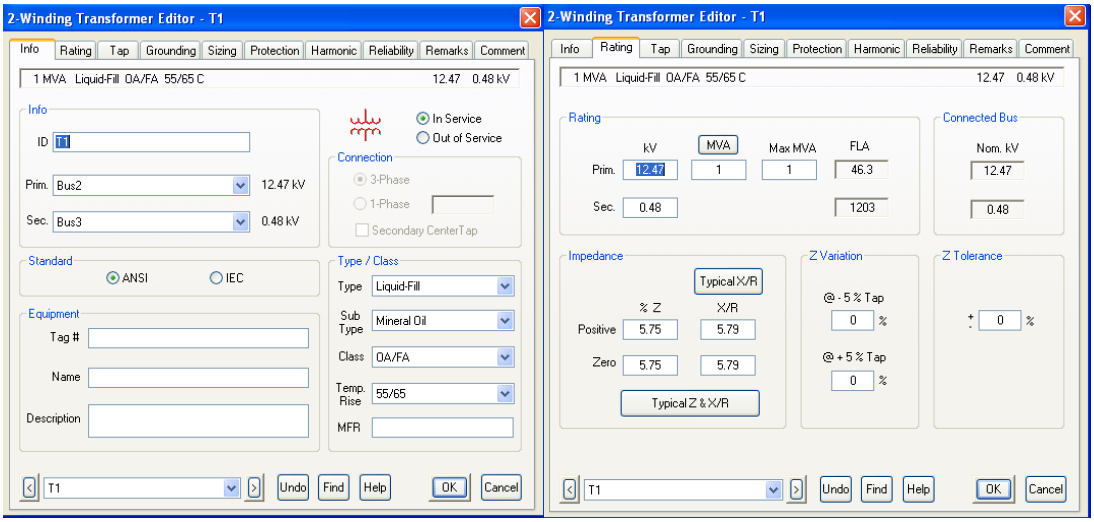


Figura 13
Datos de Motor

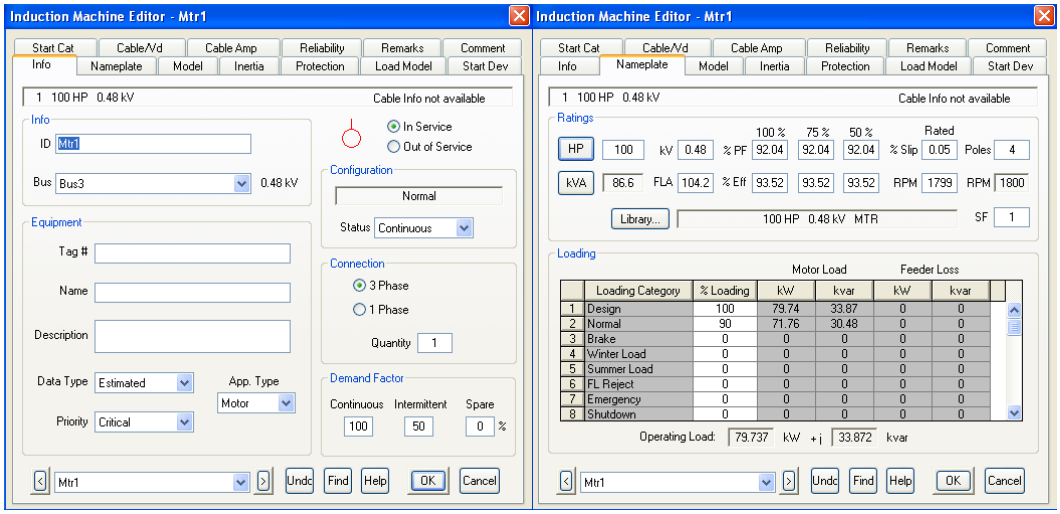


Figura 14
Datos de Cable.

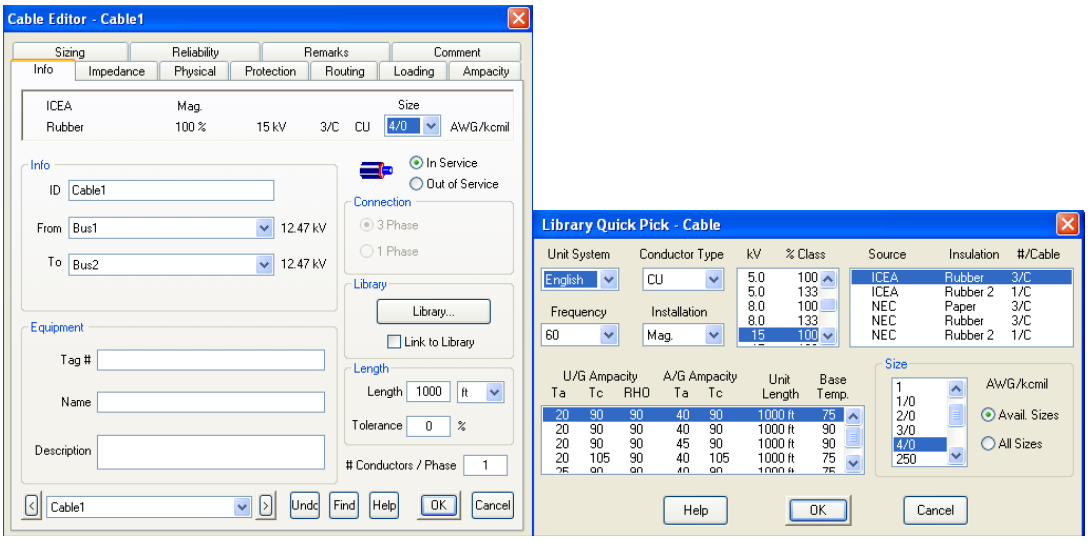


Figura 15

Paso 2. Al finalizar de ingresar los datos del circuito accedemos al modo de STAR, “protective device coordination”, luego se configura el módulo STAR accediendo al icono de “edit study case”. Este es un módulo que permite el uso de las protecciones y permite parametrizar su momento de acción, al final proporcionará valores experimentales y gráficos de mucha utilidad. Queda configurado de la siguiente manera.

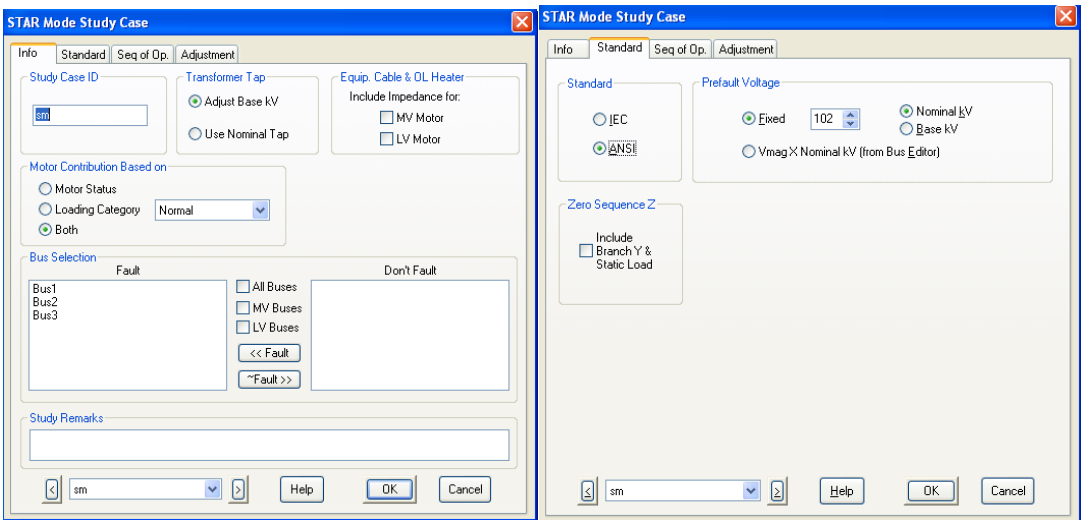


Figura 16

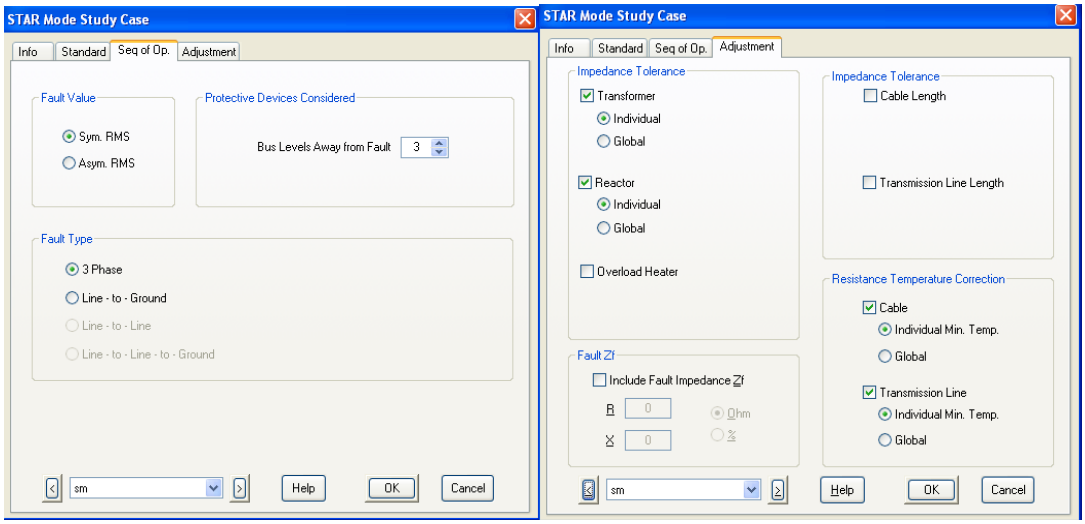
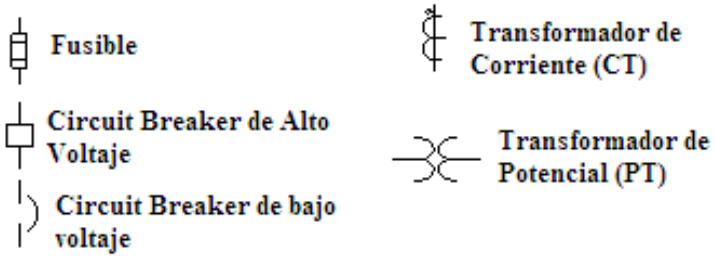
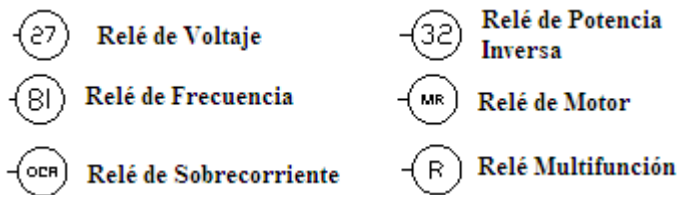


Figura 17

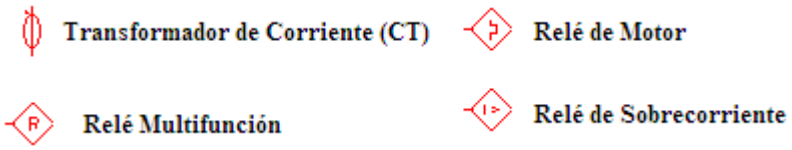
1.10 Interpretación y diseño de planos eléctricos

Simbología ANSI para dispositivos de protección de sistemas eléctricos.





Simbología IEC de dispositivos de protección.



La Figura siguiente muestra un diagrama unilineal de un sistema eléctrico de potencia real.

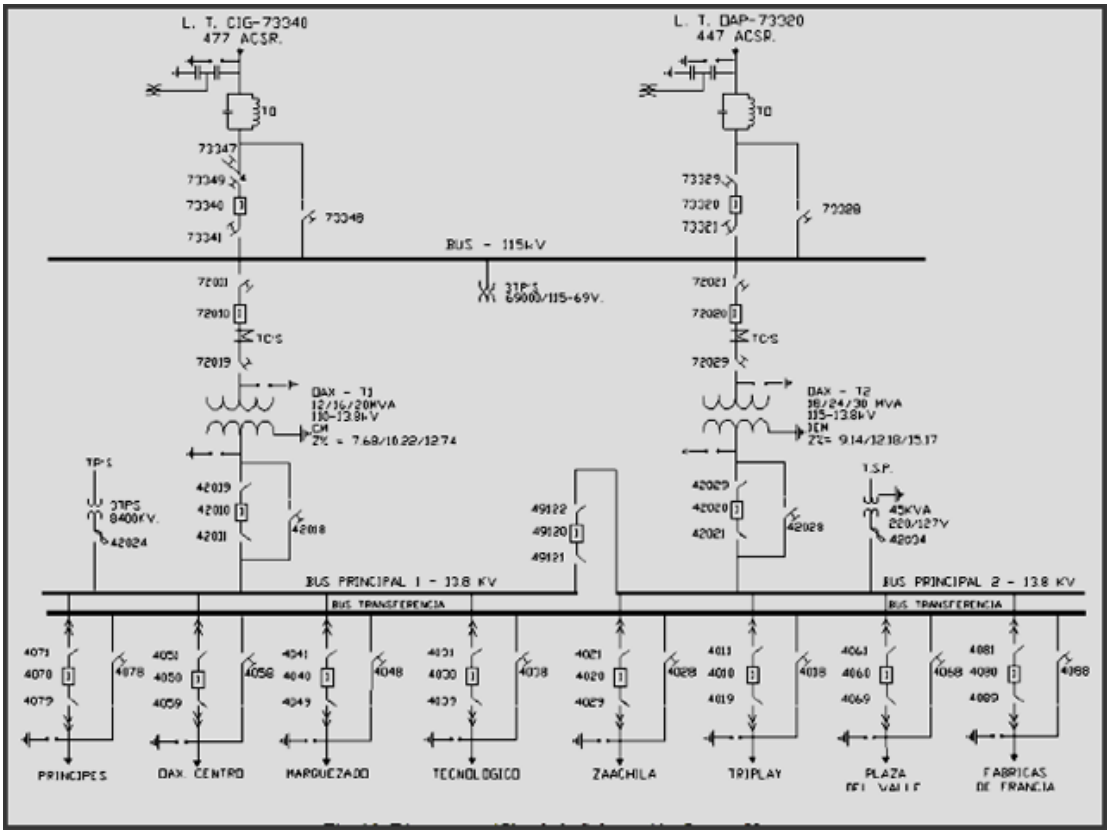


Figura 18
Diagrama unilineal de un sistema de potencia real.

En este plano se observan los símbolos eléctricos más utilizados para la gráfica visual y comprender así, cabalmente, el alcance del sistema de protección que se presenta.

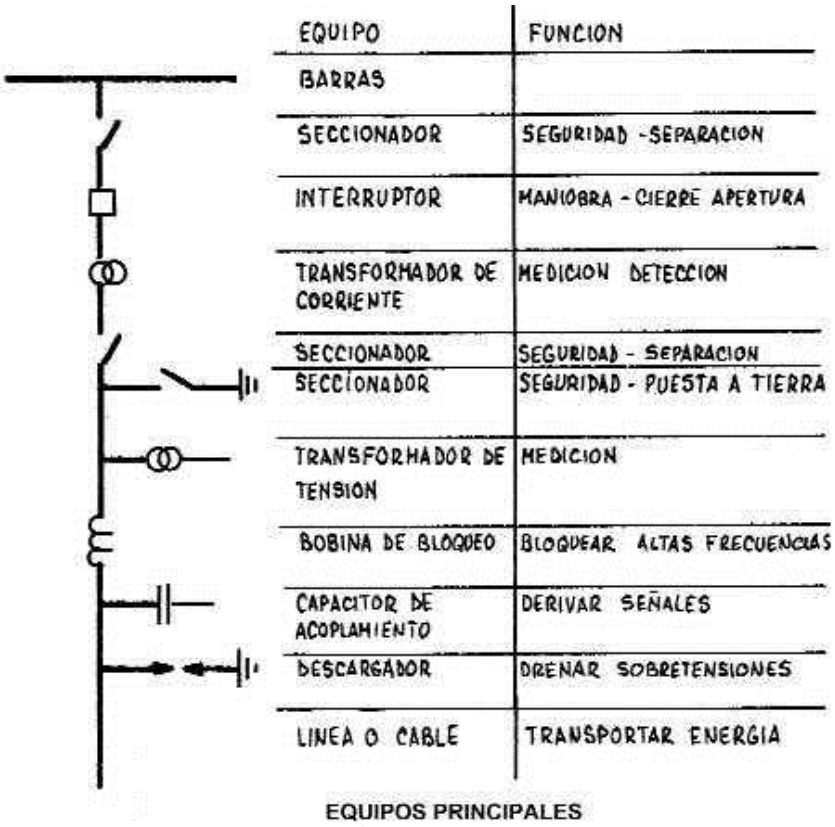


Figura 19
Identificación de aparatos de maniobra y protección y sus símbolos.

En la Figura 19 se muestra un plano esquemático con detalles de tipo de equipo y su función en el circuito o SEP (sistema eléctrico de potencia).

Mientras que en el plano de la Figura 19, en formato AutoCad, de la página siguiente se nuestra el seccionamiento de una línea eléctrica de media tensión para un centro de transformación tipo intemperie de una potencia de 50kVA.

En ella aparece la planta y las secciones o vistas necesarias para que pueda comprenderse o construirse sin problemas, por el personal capacitado.

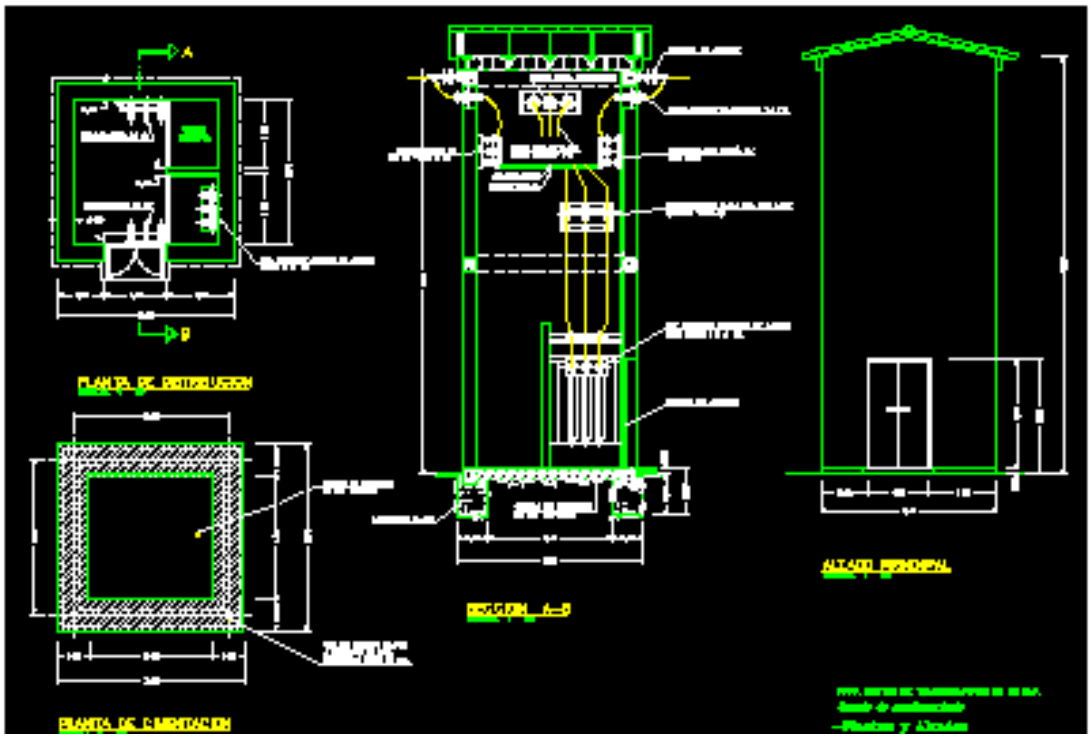


Figura 20
Plano eléctrico de caseta de seccionador de línea de distribución.

Descripción de los números ANSI / IEEE.

1. Elemento principal, es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relé de tensión, interruptor de flotador, etc., que sirve para poner el aparato en operación o fuera de servicio, bien directamente o a través de dispositivos, tales como relés de protección con retardo.
2. Relé de cierre o arranque temporizado, es el que da la temporización deseada entre operaciones de una secuencia automática o de un sistema de protección, excepto cuando es proporcionado específicamente por los dispositivos 48, 62 y 79 descritos más adelante.
3. Relé de comprobación o de bloqueo, es el que opera en respuesta a la posición de un número de condiciones determinadas, en un equipo para permitir que continúe su operación, para que se pare o para proporcionar una prueba de la posición de estos dispositivos o de estas condiciones para cualquier fin.
4. Contacto principal, es un dispositivo generalmente mandado por el dispositivo Nº 1 o su equivalente y los dispositivos de permiso y protección necesarios, y sirve para cerrar y abrir los circuitos de control necesarios para reponer un equipo en marcha, bajo las condiciones deseadas o bajo otras condiciones anormales.
5. Dispositivo de parada, es aquel cuya función primaria es quitar y mantener un equipo fuera de servicio.

6. Interruptor de arranque, es un dispositivo cuya función principal es conectar la máquina a su fuente detención de arranque.

7. Interruptor de ánodo, es el utilizado en los circuitos del ánodo de un rectificador de potencia, principalmente para interrumpir el circuito rectificador por retorno del encendido de arco.

8. Dispositivo de desconexión de energía de control, es un dispositivo de desconexión (tal como un conmutador de cuchilla, interruptor o bloque de fusibles extraíbles) que se utiliza con el fin de conectar y desconectar, respectivamente, la fuente de energía de control hacia y desde la barra o equipo de control.

   Nota.- se considera que la energía de control incluye la energía auxiliar que alimenta aparatos pequeños como motores calefactores.

9. Dispositivo de inversión, es el que se utiliza para invertir las conexiones del campo de una máquina o bien para otras funciones especiales de inversión.

10. Conmutador de secuencia, es el que se utiliza para cambiar la secuencia de conexión o desconexión de unidades de un equipo de unidades múltiples.

11. Reservado para aplicaciones futuras.

12. Dispositivo de exceso de velocidad, es normalmente un interruptor de velocidad de conexión directa que actúa cuando la máquina se embala.

13. Dispositivo de velocidad síncrona, es el que funciona con aproximadamente la velocidad normal de una máquina, tal como un conmutador de velocidad centrífuga, relés de frecuencia de deslizamiento, relé de tensión, relé de intensidad mínima o cualquier tipo de dispositivo similar.

14. Dispositivo de falta de velocidad, es el que actúa cuando la velocidad de la máquina desciende por debajo de un valor predeterminado.

15. Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia, de una máquina o sistema a un cierto valor o bien entre ciertos límites.

16. Reservado para aplicaciones futuras.

17. Conmutador para puentear el campo serie, sirve para abrir y cerrar un circuito en shunt entre los extremos de cualquier pieza o aparto (excepto una resistencia) tal como el campo de una máquina un condensador o una reactancia.

    Nota.- Eso incluye los dispositivos que realizan las funciones de shunt necesarias para arrancar una máquina por los dispositivos 6 o 42, su equivalente, y también excluye la función del dispositivo 73 que sirve para la operación de las resistencias.

18. Dispositivo de aceleración o declaración, es el que se utiliza para cerrar o hacer cerrar los circuitos que sirven para aumentar o disminuir la velocidad de una máquina.

19. Contactos de transición de arranque a marcha normal. Su función es hacer las transferencias de las conexiones de alimentación de arranque a las de marcha normal de la máquina.

20. Válvula maniobrada eléctricamente, es una válvula accionada por solenoide o motor, que se utiliza en circuitos de vacío, aire, gas, aceite, agua o similares.

21. Relé de distancia, es el que funciona cuando al admitancia, impedancia o reactancia del circuito disminuyen o aumentan a unos límites preestablecidos.

22. Interruptor igualador, sirve para conectar y desconectar las conexiones para actualización de intensidad para los reguladores del campo de la máquina o de la tensión de la máquina, en una instalación de unidades múltiples.

23. Dispositivo regulador de temperatura, es el que funciona para mantener la temperatura de la máquina u otros aparatos dentro de ciertos límites.

    Nota.- Un ejemplo es un termostato que enciende un calentador en un elemento de aparellaje, cuando la temperatura desciende a un valor deseado que es distinto de un dispositivo usado para proporcionar regulación de temperatura automática entre límites próximos, y que sería designado como 90T.

24. Sobre excitación. Un relé que funciona cuando la relación V/Hz (tensión/frecuencia) excede un valor preajustado.

    El relé puede tener una característica temporizada o instantánea.

25. Dispositivo de sincronización o puesta en paralelo, es el que funciona cuando dos circuitos de alterna están dentro de los límites deseados de tensión, frecuencia o ángulo de fase, lo cual permite o causa la puesta en paralelo de estos circuitos.

26. Dispositivo térmico, es el que funciona cuando la temperatura del campo en shunt, o el bobinado amortiguador de una máquina, o el de una resistencia de limitación de carga o de cambio de carga, o de un líquido u otro medio, excede de un valor determinado con anterioridad. Si la temperatura del aparato protegido, tal como un rectificador de energía, o de cualquier otro medio, es inferior a un valor fijado con antelación.

27. Relé de mínima tensión, es el que funciona al descender la tensión de un valor predeterminado.

28. Detector de llama, su función es detectar la existencia de llama en el piloto o quemador principal, por ejemplo de una caldera o una turbina de gas.

29. Contactor de aislamiento, es el que se utiliza con el propósito especial de desconectar un circuito de otro, por razones de maniobra de emergencia, conservación o prueba.

30. Relé anunciador, es un dispositivo de reposición no automática que da un número de indicaciones visuales independientes al accionar el dispositivo de protección y además también puede estar dispuesto para efectuar la función de bloqueo.

31. Dispositivo de excitación separada, es el que conecta un circuito, tal como el campo shunt de una conmutatriz, a la fuente de excitación separada durante el proceso de arranque, o bien se utiliza para energizar la excitación y el circuito de encendido de un rectificador.

32. Relé direccional de potencia, es el que funciona sobre un valor deseado de potencia en una dirección dada o sobre la inversión de potencia como por ejemplo,

la resultante del retroceso del arco en los circuitos de ánodo o cátodo de un rectificador de potencia.

33. Conmutador de posición, es el que hace o abre contacto cuando el dispositivo principal o parte del aparato, que no tiene un número funcional de dispositivo, alcanza una posición dada.

34. Conmutador de secuencia movido a motor, es un conmutador de contactos múltiples el cual fija la secuencia de operación de los dispositivos principales durante el arranque y la parada, o durante otras operaciones que requieran una secuencia.

35. Dispositivo de cortocircuito de las escobillas o anillos rozantes, es para elevar, bajar o desviar las escobillas de una máquina, o para cortocircuitar los anillos rozantes.

36. Dispositivo de polaridad, es el que acciona o permite accionar a otros dispositivos con una polaridad solamente,

37. Relé de baja intensidad o baja potencia, es el que funciona cuando la intensidad o la potencia caen por debajo de un valor predeterminado.

38. Dispositivo térmico de cojinetes, es el que funciona con temperatura excesiva de los cojinetes.

39. Detector de condiciones mecánicas, es el que tiene por cometido funcionar en situaciones mecánicas anormales (excepto las que suceden a los cojinetes de una máquina, tal y como se escoge en la función 38), tales como vibración excesiva, excentricidad, etc.

40. Relé de campo, es el que funciona por un valor dado, anormalmente bajo, por fallo de la intensidad decampo de la máquina, o por un valor excesivo del valor de la componente reactiva de la corriente de armadura en una máquina de c.a., que indica excitación del campo anormalmente baja.

41. Interruptor de campo, es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de una máquina.

42. Interruptor de marcha, es un dispositivo cuya función principal es la de conectar la máquina a su fuente de tensión de funcionamiento en marcha, después de haber sido llevada hasta la velocidad deseada desde la conexión de arranque.

43. Dispositivo de transferencia, es un dispositivo accionado a mano, que efectúa la transferencia de los circuitos de control para modificar el proceso de operación del equipo de conexión de los circuitos o de algunos de los dispositivos.

44. Relé de secuencia de arranque del grupo, es el que funciona para arrancar la unidad próxima disponible en un equipo de unidades múltiples cuando falta o no está disponible la unidad que normalmente precede.

45. Detector de condiciones atmosféricas. Funciona ante condiciones atmosféricas anormales, como humos peligrosos, gases explosivos, fuego, etc.

46. Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases, es un relé que funciona cuando las intensidades polifásicas están en secuencia inversa o desequilibrada o contienen componentes de secuencia negativa.

47. Relé de tensión para secuencia de fase, es el que funciona con un valor dado de tensión polifásica de la secuencia de fase deseada.

48. Relé de secuencia incompleta, es el que vuelve al equipo a la posición normal o “desconectado” y lo enclava si la secuencia normal de arranque, funcionamiento o parada no se completa debidamente dentro de un intervalo predeterminado.

49. Relé térmico para máquina, aparato o transformador, es el que funciona cuando la temperatura de la máquina, aparato o transformador excede de un valor fijado.

50. Relé instantáneo de sobre intensidad o de velocidad de aumento de intensidad, es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo de velocidad de aumento de intensidad.

51. Relé de sobreintensidad temporizado, es un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de c.a. sobrepasa in valor dado.

52. Interruptor de c.a. es el que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia de c.a. bajo condiciones normales, o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falta de emergencia.

53. Relé de la excitatriz o del generador de c.c. es el que fuerza un campo de la máquina de c.c. durante el arranque o funciona cuando la tensión de la máquina ha llegado a un valor dado.

54. Reservado para aplicaciones futuras.

55. Relé de factor de potencia, es el que funciona cuando el factor de potencia de un circuito de c.a. no llega o sobrepasa un valor dado.

56. Relé de aplicación del campo, es el que se utiliza para controlar automáticamente la aplicación de la excitación de campo de un motor de c.a. en un punto predeterminado en el ciclo de deslizamiento.

57. Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra, es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.

58. Relé de fallo de rectificador de potencia, es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.

59. Relé de sobretensión, es que funciona con un valor dado de sobretensión.

60. Relé de equilibrio de tensión, es el que opera con una diferencia de tensión entre dos circuitos.

61. Relé de parada o apertura temporizada, es el que se utiliza en unión con el dispositivo que inicia la parada total o la indicación de parada o apertura en una secuencia automática.

62. Reservado para aplicaciones futuras.

63. Relé de presión de gas, líquido o vacío, es el que funciona con un valor dado de presión del líquido o gas, para una determinada velocidad de variación de la presión.

64. Relé de protección de tierra, es el que funciona con el fallo a tierra del aislamiento de una máquina, transformador u otros aparatos, o por contorneo de arco a tierra de una máquina de c.c.

Nota: Esta función se aplica sólo a un relé que detecta el paso de corriente desde el armazón de una máquina, caja protectora o estructura de una pieza de aparatos, a tierra, o detecta una tierra en un bobinado o circuito normalmente no puesto a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o en el neutro secundario de un transformador o transformadores de intensidad, conectados en el circuito de potencia de un sistema puesto normalmente a tierra.

65. Regulador mecánico, es el equipo que controla la apertura de la compuerta o válvula de la máquina motora, para arrancarla, mantener su velocidad o detenerla.

66. Relé de pasos, es el que funciona para permitir un número especificado de operaciones de un dispositivo dado o equipo, o bien, un número especificado de operaciones sucesivas con un intervalo dado de tiempo entre cada una de ellas. También se utiliza para permitir el energizado periódico de un circuito, y la aceleración gradual de una máquina.

67. Relé direccional de sobre intensidad de c.a. es el que funciona con un valor deseado de circulación de sobreintensidad de c.a. en una dirección dada.

68. Relé de bloqueo, es el que inicia una señal piloto para bloquear o disparar en faltas externas en una línea de transmisión o en otros aparatos bajo condiciones dadas, coopera con otros dispositivos a bloquear el disparo o a bloquear el reenganche con una condición de pérdida de sincronismo o en oscilaciones de potencia.

69. Dispositivo de supervisión y control, es generalmente un interruptor auxiliar de dos posiciones accionado a mano, el cual permite una posición de cierre de un interruptor o la puesta en servicio de un equipo y en la otra posición impide el accionamiento del interruptor o del equipo.

70. Reóstato, es el que se utiliza para variar la resistencia de un circuito en respuesta a algún método de control eléctrico, que, o bien es accionado eléctricamente, o tiene otros accesorios eléctricos como contactos auxiliares de posición o limitación.

71. Relé de nivel líquido o gaseoso. Este relé funciona para valores dados de nivel de líquidos o gases, o para determinadas velocidades de variación de estos parámetros.

72. Interruptor de c.c. es el que se utiliza para cerrar o interrumpir el circuito de alimentación de c.c. bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo condiciones de emergencia.

73. Contactor de resistencia de carga, es el que se utiliza para puentear o meter en circuito un punto de la resistencia limitadora, de cambio o indicadora, o bien para

activar un calentador, una luz, o una resistencia de carga de un rectificador de potencia u otra máquina.

74. Relé de alarma, es cualquier otro relé diferente al anunciador comprendido bajo el dispositivo 30 que se utiliza para accionar u operar en unión de una alarma visible o audible.

75. Mecanismo de cambio de posición, se utiliza para cambiar un interruptor desconectador en unidad entre las posiciones de conectado, desconectado y prueba.

76. Relé de sobreintensidad de c.c. es el que funciona cuando la intensidad en un circuito de c.c. sobrepasa un valor dado.

77. Transmisor de impulsos, es el que se utiliza para generar o transmitir impulsos, a través de un circuito de Telemedida o hilos pilotos, a un dispositivo de indicación o recepción de distancia.

78. Relé de medio de ángulo de desfase o de protección de salida de paralelo, es el que funciona con un valor determinado de ángulo de desfase entre dos tensiones o dos intensidades, o entre tensión e intensidad.

79. Relé de reenganche de c.a. es el que controla el reenganche enclavamiento de un interruptor de c.a.

80. Relé de flujo líquido o gaseoso, actúa para valores dados de la magnitud del flujo o para determinadas velocidades de variación de éste.

81. Relé de frecuencia, es el que funciona con un valor dado de la frecuencia o por la velocidad de variación dela frecuencia.

82. Relé de reenganche de c.c. es el que controla el cierre y reenganche de un interruptor de c.c. generalmente respondiendo a las condiciones de la carga del circuito.

83. Relé de selección o transferencia del control automático, es el que funciona para elegir automáticamente entre ciertas fuentes de alimentación o condiciones en un equipo, o efectúa automáticamente una operación de transferencia.

84. Mecanismo de accionamiento, es el mecanismo eléctrico completo, o servomecanismo, incluyendo el motor de operación, solenoides, auxiliares de posición, etc., para un cambiador de tomas, regulador de inducción o cualquier pieza de un aparato que no tenga número de función.

85. Relé receptor de ondas portadoras o hilo piloto, es el que es accionado o frenado por una señal y se usa en combinación con una protección direccional que funciona con equipos de transmisión de onda portadora o hilos piloto de c.c.

86. Relé de enclavamiento, es un relé accionado eléctricamente con reposición a mando o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando concurren condiciones anormales.

87. Relé de protección diferencial, es el que funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos intensidades o algunas otras cantidades eléctricas.

88. Motor o grupo motor generador auxiliar, es el que se utiliza para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, etc.

89. Desconectador de línea, es el que se utiliza como un desconectador de desconexión o aislamiento en un circuito de potencia de c.a. o c.c. cuando este dispositivo se acciona eléctricamente o bien tiene accesorios eléctricos, tales como interruptores auxiliares, enclavamiento electromagnético, etc.

90. Dispositivo de regulación, es el que funciona para regular una cantidad, tal como la tensión, intensidad, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura y carga a un valor dado, o bien ciertos límites para las máquinas, líneas de unión u otros aparatos.

91. Relé direccional de tensión, es el que funciona cuando la tensión entre los extremos de un interruptor o contactor abierto sobrepasa de un valor dado en una dirección dada.

92. Relé direccional de tensión y potencia, es un relé que permite y ocasiona la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de tensión entre ellos excede de un valor dado en una dirección predeterminada y da lugar a que estos dos circuitos sean desconectados uno del otro cuando la potencia circulante entre ellos excede de un valor dado en la dirección opuesta.

93. Contador de cambio de campo, es el que funciona para cambiar el valor de la excitación de la máquina.

94. Relé de disparo o disparo libre, es el que funciona para disparar o permitir disparar un interruptor, contactor o equipo, o evitar un reenganche inmediato de un interruptor en el caso que abra por sobrecarga, aunque el circuito inicial de mando de cierre sea mantenido.

96. Instrumentación específica asociada a la función

Para la función de protecciones de equipos eléctricos, se tiene una amplia gama de instrumentos.

#	Nombre	Descripción	Tipo de interruptor	Aplicación	Norma
1	Prueba de tiempos de contactos	Mide el tiempo desde el inicio de la orden hasta que los contactos se cierran o se separan	Todos	Mecánica: Operación total del interruptor	IEC56, art. 4.113
2	Prueba de viaje y de velocidad	Traza el recorrido y las curvas de velocidad	Todos	Mecánica: Operación total del interruptor	Diseño
3	Prueba funcional	Verifica la operación general del interruptor	Todos	Mecánica: Operación total del interruptor	IEC694, art. 7.2.2
4	Prueba vibracional	Mide la firma de la vibración de un interruptor	Todos	Mecánica: Integridad total del interruptor	
5	Prueba del primer disparo	Mide el tiempo del contacto al primer disparo	Interruptores de MT	Mecánica: Operación total del interruptor	
6	Prueba del consumo de la operación de presión	Mide el consumo de aire de una operación o de un ciclo de	Int. neumáticos e hidráulicos	Mecánica: Operación total del interruptor	
7	Prueba de rayos X	Toma una foto de rayos X del interior de los subconjuntos encerrados	Todos	Mecánica: Integridad total del interruptor	

8	Prueba de ultrasonido	Revisa las microgrietas en los aislamientos	Aisladores	Eléctrica: Conductividad del circuito principal	
9	Pruebas de la resistencia de contacto	Mide la resistencia de contacto entre las partes que deben conducir la corriente	Todos	Eléctrica: Conductividad del circuito principal	IEC694, art. 7.3
10	Prueba dinámica de la resistencia de contacto	Mide continuamente la resistencia de contacto desde el primer contacto hecho por un contacto móvil hasta que se detiene el contacto	Todos	Eléctrica: Aislamiento del circuito principal	
11	Prueba del aislamiento AC	Mide el aislamiento entre los contactos abiertos y entre la línea y la tierra	Todos	Eléctrica: Conductividad del circuito principal	Muy popular
12	Prueba de la temperatura infrarroja	Mide la temperatura de las partes con el dispositivo infrarrojo	Todos	Eléctrica: Aislamiento del circuito principal	
13	Prueba del aislamiento de los circuitos auxiliares	Mide el aislamiento de los circuitos de control de baja tensión	Todos	Eléctrica: Aislamiento del circuito de control	IEC694, art 7.2

14	Prueba de la capacitancia	Revisa el valor de la capacitancia usado en el interruptor (graduación, acoplamiento, etc.)	Condensadores	Eléctrica: Integridad del equipo	
15	Prueba del porcentaje de la mezcla de SF6	Mide el porcentaje del SF6 en la mezcla del gas aislante	Int. SFG	Química: Calidad general del medio	
16	Prueba de los subproductos de SF6	Mide el nivel de los subproductos de SF6 en el gas aislante SF6	Int. SFG	Química: Calidad general del medio	
17	Prueba del contenido de agua en el gas	Mide el contenido de la humedad en el medio aislante	SF6 y soplado de aire	Química: Calidad general del medio	
18	Prueba de la rigidez	Revisa la rigidez del medio aislante	Todos	Química: Calidad general del medio	IEC694, art 7.4
19	Prueba y análisis del aceite disuelto en gas	Mide el contenido de gas en el aceite aislante	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	ASTM, D36132
20	Prueba dieléctrica del aceite	Mide las características dieléctricas del aceite aislante	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	IEC156, ASTM, D877
21	Prueba de la acidez del aceite	Mide el grado de acidez en el aceite aislante	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	ASTM, 974

22	Tensión interfacial del aceite	Mide la tensión interfacial del aceite aislante (para partículas en el aceite)	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	AST M, D971
23	Factor de potencia del aceite	Mide el factor de potencia	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	AST M, D924
24	Agua en el aceite	Mide los PPM del agua en el aceite	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	AST M, D153 3
25	Densidad del aceite	Mide la densidad	Int. en aceite	Química: Calidad general del medio	AST M, D129 8

Figura 21
Instrumentación para pruebas, medidas y observación para MT y AT.

1.11 Lógica del proceso a que aplica la función (operaciones unitarias)

En un sistema de protecciones eléctricas de media y alta tensión, los equipos de protección como relés, medidores y sensores, deben seguir una lógica que permita, mediante operaciones unitarias, cumplir los objetivos de proteger correctamente a las personas, los equipos e infraestructura existente.

Operaciones Unitarias.

Las operaciones unitarias son cada una delas acciones necesarias de transporte, adecuación y/o transformación.

La Figura a continuación, muestra en la práctica el concepto de operaciones unitarias a procesos industriales.

Figura 22
Operaciones unitarias.

1.12 Control eléctrico

Las operaciones de mando que se deben realizar, diseñar, controlar y mantener son de vital importancia en el mundo laboral actual, es por ello que en este apunte y el módulo, son mirados desde un perspectiva de orden didáctico, separando circuitos de control Manual, circuitos de control semi automático y circuitos de control automático.

Los circuitos de control deben estar diseñados poniendo especial atención a las operaciones demando, y estas son, por ejemplo para un motor eléctrico, Arranque, Frenado, Regulación de velocidad e Inversiones del sentido de giro. Para el caso de líneas de transmisión, centrales de generación, transformadores de poder, etc., se aplicarán los mandos correspondientes.

Según esto se ha de considerar también las óptimas condiciones de seguridad para el personal que va a operar dichos sistemas de control eléctricos.

Para simplificar el concepto de control eléctrico lo haremos referido a motores:

El circuito de control.

Es el conjunto de componentes primarios o básicos que no están conectados directamente a la potencia de la máquina, pero sin embargo tiene absoluto gobierno (mando o regulación) sobre el circuito de fuerza.

Los circuitos de control realizan funciones tales como: arranque, aceleración, regulación, inversión, etc.

Los elementos utilizados para regular o gobernar las funciones de una máquina se denominan componentes secundarios de control o maniobra.

Los circuitos de Control pueden ser clasificados en Sistemas Manuales, Semiautomáticos, y Automáticos.

Sistemas de control semi automático.

Es una forma de control que se efectúa por medios desde otro lugar en donde la función de la máquina debe ser realizada. En todos los casos el control semi automático proporciona protección contra sobrecarga o cortocircuito.

El control semi automático se caracteriza por el hecho de que el operador debe mover un interruptor o presionar un pulsador para que se efectúe cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento de la máquina o equipo.

Sistemas de control automático.

Es una forma de control que se efectúa automáticamente desde cualquier lugar, no es necesario que sea sobre la máquina o equipo. En todo momento el control automático proporciona protección contra sobrecarga o cortocircuito.

El control automático se caracteriza por el hecho de que el operador sólo pulsa un pulsador para que se efectúe cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento de la máquina o equipo, sin que sea necesaria la intervención del operador para que se realicen los cambios programados en equipo.

En las Figura siguientes, se muestra el concepto de circuito unilineal de fuerza y circuito o diagrama de control de un motor eléctrico.

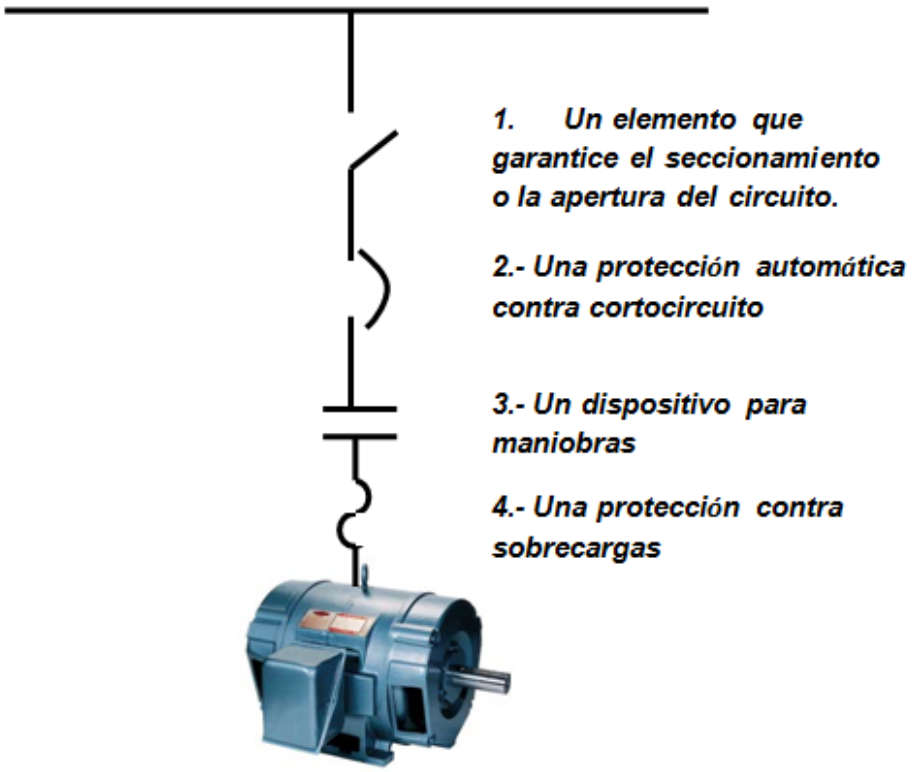


Figura 23
Diagrama unilineal de fuerza de motor eléctrico.

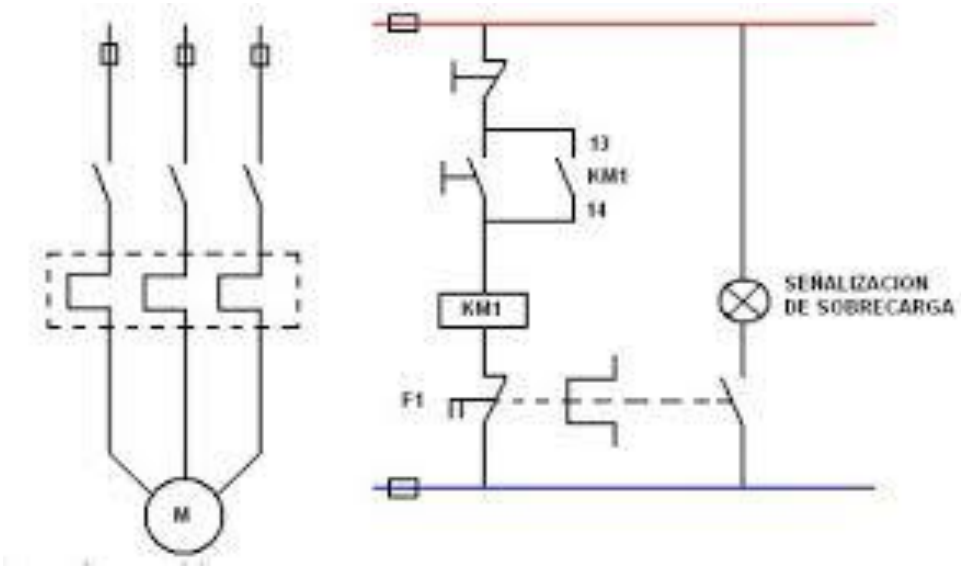


Figura 24
Diagrama unilineal de fuerza y control de un motor eléctrico.

Actividad N°4

Mantención de protecciones en sistemas eléctricos de potencia

Introducción a la actividad
La siguiente actividad está diseñada para que el participante tenga un primario conocimiento de las protecciones eléctricas de media y alta tensión, métodos de seguridad para su instalación, operación, y mantención de ellas.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	√
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	√
Formulación de preguntas.	√

Identificar y ajustar protecciones eléctricas mediante relés de numeral ANSI / IEEE y coordinar protecciones usando carga resistiva.

Objetivos del aprendizaje
- Uso y ajuste de relés más usados en redes eléctricas e interiorización de su número ANSI / IEEE.

Descripción de la Actividad
El instructor podrá realizar estas actividades en grupos, en pares o individualmente.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen toma de datos de los relés 50, 51 y 61. Este análisis debe quedar reflejado en un informe técnico para que el instructor lo evalúe.

Materiales y Recursos

- Relés de protecciones 50 y 51, con sus curvas de operación.
- Amperímetro de tenazas, escala 0 – 5 amperes.
- Tester con escala de 400Vac.
- Set de herramientas como destornilladores, y alicates.
- Lab – Volt o similar.
- Extensiones eléctricas con enchufes hembra macho monofásicos y trifásicos.´
- Cables con pinzas terminales, apto para 400Vac.

Seguridad:

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller**:**
  - Casco
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad para electricista
  - Guantes de cabritilla
  - Chaleco reflectante
  - Protector auditivo. Si aplica.
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado.

Tabla Nº 1

Confeccionar tabla Nº 1 con hoja de datos de relés 50 y 51,

Armar un circuito equivalente como muestra la Figura siguiente:

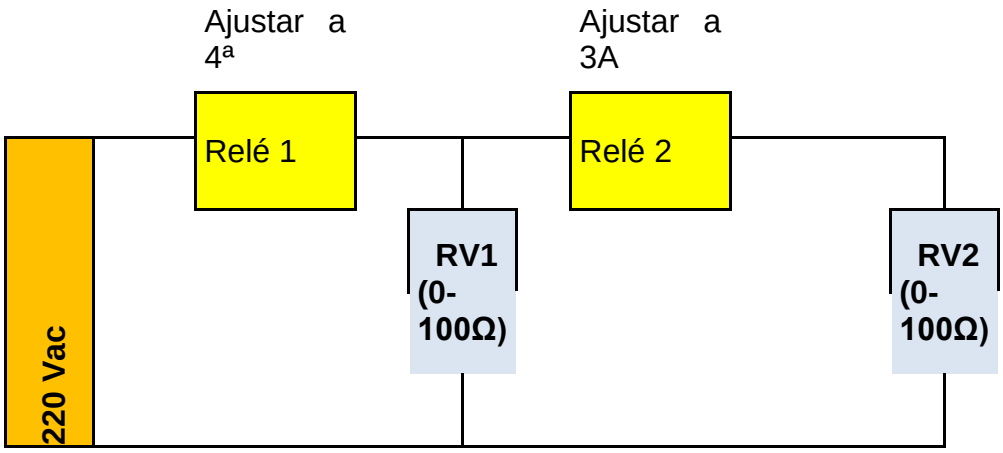


Figura 1. Esquema para ajustar y probar relés 50 y 51.

En el esquema se tiene:

Fuente de poder 220V regulable,
Relé 1 Un relé 50 o 51,
Relé 1 Un relé 51,
RV1 Resistencia regulable (0 - 100Ω),
RV2 Resistencia regulable (0 - 100Ω).

Antecedentes aportados por instructor:

Curvas de relés 50 y 51.

Descripción de funcionamiento relés en simulación.

Será parte del informe describir el funcionamiento de los relés 50 y 51.

Descripción de funcionamiento relés en simulación.

Será parte del informe describir el funcionamiento de los relés 50 y 51.

Cierre y Conclusiones

a. Los participantes, según las operaciones de los relés descritos, determinarán cual es la coordinación más apropiada entre ellos (50 y 51),
b. Al final el alumno entenderá que la calibración y ajuste de los relés debe ser comprendida como si se operara con interruptores de tipo termomagnéticos de distintas curvas de operación.

Además, en este campo, el instructor deberá enfatizar las cinco reglas de oro de la prevención de accidentes eléctricos, que se pueden resumir en:

- Abrir todas las fuentes de tensión.
- Bloquear los aparatos de corte.
- Verificar la ausencia de tensión.
- Instalar los equipos de puesta a tierra.
- Delimitar y señalizar la zona de trabajo.

Si se respetan estas simples reglas, estaremos garantizando la seguridad de nuestros trabajadores, así como de cualquier persona que por descuido pueda realizar alguna maniobra. La seguridad eléctrica no se puede dejar al azar, debemos coordinar y no improvisar, porque muchas veces por esta razón ocurren los accidentes.

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-MCMORAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD