



Cuaderno del Instructor  
Módulo 5: “Mantenimiento de tableros  
de distribución, fuerza y control”  
PFMEI-4-01/V.1[PE01-M05/v.1]

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



## **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](http://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](http://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 educativas:

- 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

<b>Descripción del documento.....</b>	<b>8</b>
<b>Módulo V: Mantenición de Tableros de .....</b>	<b>9</b>
<b>Distribución, Fuerza y Control .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Metrología eléctrica en alta tensión .....</b>	<b>10</b>
1.1 Aspectos generales.....	10
1.2 Ideas generales y definiciones .....	12
<b>2. Instalaciones de Fuerza .....</b>	<b>27</b>
<b>3. Terminología / Siglas técnicas .....</b>	<b>27</b>
3.1 Transformadores de potencial .....	32
3.2 Transformadores de corriente .....	38
3.3 El mega óhmetro (megger, hipot, Bauer, etc.).....	41
3.4 El micro-óhmetro .....	67
<b>4. Tableros de distribución, fuerza y control .....</b>	<b>68</b>
4.1 Diagramas de escalera .....	68
4.2 Diagrama de contactos (Ladder) .....	69
4.3 Símbolos NEMA y DIN .....	70
4.4 Literatura técnica de equipos y componentes de tableros de distribución fuerza y control .....	103
4.5 Sistemas de control de centro de control de motores .....	162
4.5.1 Protecciones y comandos .....	163
4.5.2 Sistema de Control Centro de Control de Motores.....	167
4.5.3 Centros de Control de Motores (CCM).....	167
4.6 Centro de distribución de cargas.....	170
4.6.1 Componentes de control (luces piloto, regletas de conexión, fusibles, contactores, relés, interruptores, transformador de control, cables) .....	170

<b>5. Calibración y ajuste de instrumentación industrial.....</b>	<b>172</b>
5.1 Protocolo de pruebas de instrumentación .....	172
5.1.1 Patrones de referencia y materiales de referencia.....	182
5.1.2 Transporte y almacenamiento.....	182
5.1.3 Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración. ....	184
5.1.4 Informe de los resultados.....	185
5.1.5 Opiniones e interpretaciones .....	187
5.1.6 Lista de verificación de instrumentación .....	189
5.1.7 Realizar Mantenimiento Eléctrico de los Tableros de Distribución, Fuerza y Control .....	189
5.2 Informe de mantenimiento.....	190
5.3 Manuales técnicos.....	192
5.4 Instrumentos de calibración.....	193
5.5 Probadores de lazos .....	193
5.6 Controladores (stand alone, PLC y DCS) .....	195
<i>Actividad n°6</i> .....	205

## 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 V: Mantenimiento de Tableros de Distribución, Fuerza y Control**

# 1. Metrología eléctrica en alta tensión

## 1.1 Aspectos generales

La Metrología en general aborda uno de los aspectos de tipo general que afectan a todas las medidas, tanto eléctricas, como de otras magnitudes que es el cálculo de la Incertidumbre de la Medida.

La determinación de las incertidumbres de medida tiene como objeto determinar en cuánto “nos equivocamos”, cada vez que se realiza una medida, para así poder establecer el intervalo de confianza donde razonablemente se encuentra el verdadero valor de la medición.

Para ilustrar este problema, a continuación se plantea el caso de la medida de la temperatura ambiente de una sala. El caso parece sencillo, pues a cualquiera se le ocurre utilizar un termómetro y leer el valor que alcanza.

Sin embargo, desde el punto de vista metrológico hay que formularse las preguntas siguientes:

- a) ¿Se conoce cómo mide el termómetro?
- b) ¿Se conoce con qué resolución se puede leer el termómetro?
- c) ¿Se sabe si está cambiando la lectura?
- d) ¿Se utiliza correctamente el termómetro? Si se sujeta con la mano, ¿se está calentando?
- e) La humedad relativa de la habitación cambia mucho, ¿se tiene en cuenta cómo afecta esto al termómetro?
- f) ¿Importa en qué parte de la habitación pongo el termómetro?
- g) ¿Se mide una única vez o varias?

Todas estas preguntas tienen su respuesta y su influencia en el valor de la medición, de manera más o menos importante.

Algunas de las cuestiones parecen sencillas, aunque conviene ser cautos, para poder obtener las respuestas adecuadas. Así, a continuación se relacionan los aspectos/ criterios/ fenómenos para poder tenerlos en cuenta.

- a) ¿Cómo mide el termómetro? depende de:
  - Su forma constructiva (bulbo, digital, etc.).
  - Exactitud.
  - Deriva con el tiempo.
- b) ¿Con qué resolución puedo leer el termómetro?

- Si es digital puede ser con décimas de grado, por ejemplo: una lectura de 23,4 ° C supone un redondeo de todos los valores desde 23,35oC hasta 23,45oC.
- Si es analógico influye la vista del operador.
- Tener en cuenta que siempre existe un redondeo al registrar un valor numérico.

c) ¿Cómo varía la lectura?

- Debido a la variación de la temperatura en la sala.
- Por la variación de las características propias del termómetro.
- Por otras influencias: modo de sujetarlo.

d) ¿Se está calentando al sujetarlo con la mano?

- Para evaluar el efecto se puede sujetar con un soporte, dejarlo estabilizar y comparar los resultados.
- Se puede formar al técnico explicando la forma en que debe sujetar el termómetro.
- Se puede cambiar el método de medida.
- En todo caso evaluar la influencia del operador.

e) ¿Cómo afecta la humedad relativa de la habitación?

- Afectará sobre todo a las sondas y medidores electrónicos.
- El fabricante del termómetro deberá estudiar cómo afecta la HR a la indicación del termómetro.
- En todo caso se deberá valorar la influencia del entorno, por ejemplo debido a las magnitudes de influencia siguientes:
  - Gravedad local
  - Tensión de alimentación, en su caso
  - Presión
  - Flujo de aire
  - Vibraciones
  - Etc.

f) ¿Está definido el punto donde se debe medir la temperatura?

- La altura y el lugar de la sala donde sitúe el termómetro influirán en el resultado de la medida.
- También influirán el momento, ya que habrá variaciones más o menos cíclicas.
- En todos los casos se debe definir lo más precisamente posible el mensurando.

- Existirá una fuente de incertidumbre por este motivo
- g) ¿Una única vez o varias?
- Con cuantas más medidas se obtendrá una mejor estimación del valor de la medida.

Las respuestas a estas preguntas, traducidas convenientemente a su valor numérico, conformarán el intervalo donde podremos esperar que se encuentre el verdadero valor de la medición, con un cierto grado de confianza.

## 1.2 Ideas generales y definiciones

Como primera idea fundamental, hay que tener en cuenta por tanto que el resultado completo de una medición consiste en el valor estimado del mesurando ( $X$ ) y la incertidumbre expandida asociada ( $U$ ). La expresión de la medición queda expresada como:

$$X \pm U$$

El valor estimado ( $X$ ) se obtendrá de la lectura del o los aparatos de medida (en el caso de medidas directas), de los cálculos derivados de varias lecturas, etc. Será el valor leído (en caso de una única lectura) o el valor medio de las medidas realizadas cuando haya varias lecturas. En otros casos  $X$  se obtendrá de la medida de varias magnitudes combinando los resultados de estas medidas según una función determinada.

La incertidumbre es el intervalo (realmente el semi-intervalo) donde se encuentra el verdadero valor de  $X$ , en las condiciones de la medición.

La determinación de la incertidumbre ( $U$ ) requiere un estudio detallado, que es el objeto a destacar en esta Unidad Didáctica.

Según lo señalado anteriormente, el resultado de la medida de la temperatura de la sala del ejemplo sería:

$$X \pm U$$

Dónde:

$X$ = Media de las medidas realizadas

$U$ = Incertidumbre resultante de la combinación de las fuentes de incertidumbre antes señaladas, que no son más que los valores numéricos de los factores señalados como a) a g) del ejemplo.

La medida será mejor cuanto más pequeño sea el intervalo alrededor de  $X$ , esto es, cuanto menor sea su incertidumbre  $U$ . Esto se consigue gracias a valores pequeños en los factores a) a g) del ejemplo o, en otras palabras, valores pequeños en las incertidumbres debidas a dichos factores, cuya composición de lugar a una  $U$  pequeña.

Es un típico problema ingenieril tomar decisiones sobre la calidad de la medición, pues a menudo es un compromiso entre el valor de la incertidumbre que podamos asumir y las acciones a tomar para reducirla.

## **Estimación de la incertidumbre de la medición (NCH ISO/IEC) 17025 art. 5.4.6)**

Un laboratorio de calibración, o un laboratorio de ensayo que realiza sus propias calibraciones, éste debe tener y debe aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de la medición para todas las calibraciones y todos los tipos de éstas.

Los laboratorios de ensayo deben tener y deben aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición. En algunos casos la naturaleza del método de ensayo puede excluir un cálculo riguroso, metrológicamente y estadísticamente válido, de la incertidumbre de medición. En estos casos el laboratorio debe, por lo menos, tratar de identificar todos los componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable, y debe asegurarse de que la forma de informar el resultado no dé una impresión equivocada de la incertidumbre.

Una estimación razonable se debe basar en un conocimiento del desempeño del método y en el alcance de la medición y debe hacer uso, por ejemplo, de la experiencia adquirida y de los datos de validación anteriores.

**NOTA 1** El grado de rigor requerido en una estimación de la incertidumbre de la medición depende de factores tales como:

- los requisitos del método de ensayo;
- los requisitos del cliente;
- la existencia de límites estrechos en los que se basan las decisiones sobre la conformidad con una especificación.

**NOTA 2** En aquellos casos en los que un método de ensayo reconocido especifique límites para los valores de las principales fuentes de incertidumbre de la medición y establezca la forma de presentación de los resultados calculados, se considera que el laboratorio ha satisfecho este requisito si sigue el método de ensayo y las instrucciones para informar de los resultados (véase 5.10).

Cuando se estima la incertidumbre de la medición, se deben tener en cuenta todos los componentes de la incertidumbre que sean de importancia en la situación dada, utilizando métodos apropiados de análisis.

**NOTA 3** Las fuentes que contribuyen a la incertidumbre incluyen, pero no se limitan necesariamente, a los patrones de referencia y los materiales de referencia utilizados, los métodos y equipos utilizados, las condiciones ambientales, las propiedades y la condición del ítem sometido al ensayo o la calibración, y el operador.

**NOTA 4** Cuando se estima la incertidumbre de medición, normalmente no se tiene en cuenta el comportamiento previsto a largo plazo del ítem ensayado o calibrado.

**NOTA 5** Para mayor información consúltase la Norma ISO 5725 y publicaciones autorizadas complementarias en Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición.

## Control de los datos

Los cálculos y la transferencia de los datos deben estar sujetos a verificaciones adecuadas llevadas a cabo de una manera sistemática.

Cuando se utilicen computadoras o equipos automatizados para captar, procesar, registrar, informar, almacenar o recuperar los datos de los ensayos o de las calibraciones, el laboratorio debe asegurarse de que:

- a) El software desarrollado por el usuario esté documentado con el detalle suficiente y haya sido convenientemente validado, de modo que se pueda asegurar que es adecuado para el uso;
- b) Se establecen e implementan procedimientos para proteger los datos; tales procedimientos deben incluir, pero no limitarse a, la integridad y la confidencialidad de la entrada o recopilación de los datos, su almacenamiento, transmisión y procesamiento;
- c) Se hace el mantenimiento de las computadoras y equipos automatizados con el fin de asegurar que funcionan adecuadamente y que se encuentran en las condiciones ambientales y de operación necesarias para preservar la integridad de los datos de ensayo o de calibración.

NOTA El software comercial (por ejemplo, un procesador de texto, una base de datos y los programas estadísticos) de uso generalizado en el campo de aplicación para el cual fue diseñado, se puede considerar suficientemente validado. Sin embargo, es conveniente que la configuración y las modificaciones del software del laboratorio se validen como se indica en 5.4.7.2a).

## Tester de alta tensión

Instrumentos con aplicación en los circuitos de Media Tensión y Alta Tensión. Permiten definir la ausencia o presencia de “voltaje” en un circuito de MT, AT, sin entrar en contacto con ella.



**Figura 1**

**Detector de alta tensión por proximidad con nivel seleccionable entre 240V y 275kV.**

Indicación acústica y visual de la presencia de tensión, haciendo innecesario el contacto físico con los conductores.

### **Uso de Procedimientos de Trabajo**

El Tester o instrumento para detectar presencia de voltaje de AT y MT se debe usar con pértigas fijas o telescópicas y provistas por el mismo fabricante.

El manejo de estos detectores implica conocer y hacer uso de procedimientos preestablecidos y aprobados, que definen claramente cómo debe usarse teniendo presente la máxima seguridad para el usuario.

El procedimiento además del conocimiento del instrumento, debe incluir el conocimiento y la aplicación de la reglamentación vigente tales como:

### **1.-DISTANCIA DE SEGURIDAD**

**Norma NCH: NSEG 5 E.n. 71**

#### **Instalaciones de Corrientes Fuertes.**

Fecha de Publicación: 12.11.1955.

Fecha de Promulgación: 22.09.1955 (D.S. N°4.188, del Ministerio del Interior)

Primera Modificación: 24.09.1971 (R.E. N°692, de SEGTEL y D.S. N°1.280 del Ministerio del Interior)

Fecha Publicación: 24.11.1971.

Última Modificación: 1993 (R.E. N°137, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción)

Fecha Publicación: 09.12.1993.

## ARTÍCULO 1º

**1.1.-** Esta Norma tiene por objeto fijar las disposiciones para la ejecución de instalaciones eléctricas de corrientes fuertes y para el mejoramiento o modificaciones de las existentes.

**1.2.-** Son consideradas como instalaciones de corrientes fuertes aquellas que presentan en ciertas circunstancias un peligro para las personas o las cosas, entendiéndose como tales las instalaciones que sirven para generar, transportar, convertir, distribuir y utilizar energía eléctrica.

## ARTÍCULO 104º

**104.1.-** La distancia de los conductores entre sí, así como entre cada conductor y el soporte deberá ser tal que no haya peligro de formación de arco entre conductores y el soporte o entre los conductores entre sí, como consecuencia de las oscilaciones producidas por el viento o de la nieve acumulada sobre los conductores.

**104.2.-** Las distancias de los conductores entre sí, y de éstos a los soportes indicados en los artículos 105 y 106, son valores mínimos que deberán adoptarse siempre que no se justifiquen mediante cálculos valores menores. Las Empresas deberán en todo caso fijar dichas distancias de acuerdo con las condiciones locales.

## ARTÍCULO 105

**105.1.-** Las distancias mínimas entre un conductor y la estructura serán las siguientes:

Tensión de la línea	Distancia en cm.
Hasta 250 Volts entre conductor y tierra	3
Más de 250 Volts entre conductor y tierra, Y hasta 1.000 Volts entre 2 conductores	5
Más de 1.000 Volts, hasta 10.000 Volts entre conductores	8
Para tensiones más elevadas	8 + 0,6 por cada 1.000 Volts sobre 10.000 Volts

De acuerdo a la expresión anterior, resultan las siguientes distancias mínimas expresadas en (mm), para las tensiones más elevadas usadas en Chile

V (KV)	15	66	110	154	220	500
D (cm)	11	42	68	89	134	302

Otros factores presentes en el cálculo de la distancia crítica y considerados por las empresas dedicadas al rubro, ajustando dicha norma al lugar específico de instalación o montaje, tales como:

- Altura sobre el nivel del mar
- Nivel de Contaminación
- Sobre voltajes de origen interno

Se define una nueva tabla de Distancias Críticas mostrada a continuación:

Nivel de Tensión (kV)	Distancia mínima admisible (m)
10	0.80
15	0.90
25	1.00
30	1.1.0
66	1.40
110	1.80
220	3.00
380	4.00

## 2.-SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Otro aspecto destacado de considerar es la normativa de seguridad vigente en la empresa. Para la Norma NCH: NSEG 5 E.n. 71 tenemos los siguientes artículos:

### ARTÍCULO 15º

**15.1.-** Los trabajos en instalaciones de corrientes fuertes, aun cuando no estén con tensión, deberán ser ejecutados por personal preparado y premunido de equipos apropiados. Si para ciertos trabajos es necesario recurrir a personas que no tengan preparación especial, deberá instruírseles en forma clara y precisa sobre la labor que les corresponda ejecutar y deberá mantenerse una estrecha vigilancia mientras trabajen.

**15.2.-** Sólo podrán ejecutarse trabajos en instalaciones vivas de alta y baja tensión cuando se emplee personal especializado, provisto del equipo adecuado. Este equipo deberá contar con la aprobación de la Superintendencia. Los responsables de la explotación deberán poner en práctica un programa regular de inspección, pruebas y mantenimiento de dichos equipos para constatar su eficiente funcionamiento.

**15.3.-** No se considera trabajo en instalación viva en el sentido del inciso anterior a la operación normal de dispositivos destinados a maniobrar en circuitos baja tensión.

**15.4.-** Cuando se ejecuten trabajos en parte de instalaciones que no están con tensión, se deberán tomar medidas para evitar al personal todo peligro que provenga de las instalaciones vecinas que hubieran quedado con tensión.

## **ARTÍCULO 16º**

**16.1.-** Como regla general, las personas responsables de la explotación darán al encargado de los trabajos instrucciones escritas relativas al momento, al lugar y a la clase de trabajos por ejecutar.

**16.2.-** Se pueden omitir las instrucciones escritas en los siguientes casos:

- a) Cuando la persona encargada de ejecutar el trabajo es técnicamente competente y posee experiencia suficiente para asumir su responsabilidad y adoptar las precauciones que necesita su propia seguridad y la sus ayudantes.
- b) Cuando las personas responsables de la explotación ejecutan por si mismas o hacen ejecutar bajo su propia vigilancia las conexiones y desconexiones necesarias y vigilan personalmente los trabajos.

**16.3.-** Cuando una orden sea dada verbalmente por teléfono o radio, deberá ser repetida por la persona que la recibe.

**16.4.-** Cuando sea necesario suprimir la tensión para la ejecución de trabajos en una parte de una instalación, dichos trabajos no podrán iniciarse sino cuando se esté completamente seguro de que esta parte de la instalación se encuentra sin tensión y haya sido conectada a tierra, según se establece en el inciso 16.7. Asimismo, no se deberá reconectar la instalación, sino después de haberse asegurado que no existe ningún peligro para el personal. En cuanto sea posible, los momentos de desconexión y reconexión se confirmarán por comunicación directa entre las personas responsables, por una parte, de la operación y, por otra parte, del trabajo. En caso de no disponerse de este recurso, se deberá fijar de antemano por escrito los intervalos de tiempo durante los cuales la tensión será suprimida, ajustándose en este caso de una manera exacta los relojes; para mayor seguridad se cuidará que transcurra cierto tiempo entre el término de los trabajos y la reconexión del circuito.

**16.5.-** Cuando haya posibilidad que por error o inadvertencia puedan operarse interruptores o seccionadores que pongan en peligro al personal, los mecanismos de comando de estos aparatos serán asegurados con cerrojos y premunidos de un letrero, con una advertencia de peligro (por ejemplo: Peligro, no conectar sin autorización de... “).

**16.6.-** Si se debe trabajar en partes de instalaciones de alta tensión y baja tensión desconectadas, se pondrán previamente éstas a tierra y en cortocircuito. Las personas responsables de la explotación velarán para que, durante toda la ejecución de los trabajos no se realice ninguna conexión o maniobra susceptible de poner en peligro al personal. La conexión a tierra y la puesta en cortocircuito no podrán ser suprimidas sino después que hayan cesado todos los trabajos y que todo el personal haya sido advertido y alejado.

**16.7.-** La conexión a tierra y la puesta en cortocircuito se harán en la proximidad de la obra y si es posible entre esta última y el punto de alimentación. Se harán en todo caso de manera que no puedan ser interrumpidas por los trabajos por realizar. Si una instalación puede ser puesta en tensión, ya sea por contacto o por inducción desde varios lados, se tendrá en cuenta este hecho colocando un número suficiente de puestas a tierra.

**16.8.-** Si para la ejecución de trabajos en partes de instalaciones desconectadas se requiere que el personal opere apoyado en estructuras metálicas éstas deberán conectarse a la misma puesta a tierra que las partes conductoras indicadas en los incisos 16.6 y 16.7 del presente artículo.

## **ARTÍCULO 17º**

**17.1.-** Las empresas deberán poner en conocimiento del personal ocupado en las instalaciones de corrientes fuertes, las prescripciones y disposiciones relativas a la seguridad en los trabajos y a primeros auxilios.

**17.2.-** Si se trata de trabajos susceptibles de poner la vida en peligro que amenacen la salud, las empresas deberán premunir a su personal de los medios de protección y primeros auxilios necesarios.

## **ARTICULO 18º**

Si los trabajos que una Empresa desea realizar en sus propias instalaciones, pudieran interferir con trabajos o instalaciones de otra empresa, en forma que para cualquiera de ellas signifique peligro para las instalaciones o el personal, perturbaciones de servicio o daños de cualquier naturaleza, deberán adoptarse de común acuerdo las medidas de seguridad adecuadas, para evitar todo peligro o perturbaciones. En caso de desacuerdo resolverá la Superintendencia.

## ARTÍCULO 19º

Deberá disponerse de un servicio de comunicaciones entre las instalaciones importantes de producción y distribución de energía eléctrica, el cual podrá ser telefónico o de radio comunicaciones, de carácter público o privado.

## TIERRAS

### ARTÍCULO 20º

Las conexiones a tierra o simplemente ‘Tierra’ en el sentido de la presente Norma, se dividen en tierras permanentes y tierras temporales. Las tierras permanentes se dividen en tierras de protección y tierras de servicio.

### ARTÍCULO 21º

**21.1.-** Se entiende por ‘**Tierra de protección**’ la destinada a evitar la aparición de tensiones peligrosas entre partes de las instalaciones que normalmente están sin tensión y otras partes vecinas que puedan encontrarse al potencial local de tierra.

**21.2.-** Deberán conectarse a la tierra de protección todas las partes metálicas de una instalación que normalmente estén sin tensión, como carcasas y chasis de máquinas, de transformadores o de aparatos, partes conductoras accesibles de estructuras y edificios, cubiertas de plomo de cable de alta y baja tensión, etc.

De igual forma deberá conectarse a tierra de protección los dispositivos de puesta a tierra de las líneas aéreas y el cable de guardia de las mismas.

**21.3.-** Las partes de la instalación y las carcasas que por razones especiales no llevan tierra de protección, deberán considerarse que están con la tensión de servicio completa; deberá por lo tanto impedirse el acceso a ellas o bien disponerlas de tal manera que solamente sean accesibles desde un lugar aislado para la tensión completa.

### ARTÍCULO 22º

**22.1.-** Se entiende por ‘**Tierra de servicio**’ aquellas destinadas a conectar en forma permanente a tierra ciertos puntos del circuito eléctrico de las instalaciones de corrientes fuertes.

**22.2.-** Deberán conectarse a la tierra de servicio: los limitadores de tensión, el neutro u otro punto del sistema si hay razones de servicio que aconsejen dicha conexión.

Se consideran como exención los casos considerados en el Art. 24º.

## **ARTÍCULO 23º**

**23.1.-** La conexión a tierra de los limitadores de tensión deberán hacerse siguiendo el camino más corto y recto posible. Los conductores de unión no deberán atravesar orificios o tubos de materiales magnéticos.

**23.2.-** Las conexiones a la tierra de servicio deberán hacerse con alambres o cables conductores en lo posible sin uniones; no se aceptarán el uso de las partes conductoras de construcciones metálicas para estas conexiones.

## **ARTÍCULO 24º**

**24.1.-** Cuando se trata de evitar que la elevación de potencial de la malla de tierra de la instalación, sea de protección o de servicio, afecte a las partes de la red situadas fuera de su zona eficaz, se emplearán mallas de tierra separadas para la conexión a tierra de dicha red.

**24.2.-** Cuando existan circuitos de comunicación o de baja tensión protegidos mediante transformadores de aislación, el lado de línea de éstos se conectarán a una tierra separada.

**24.3.-** Si una línea de tierra distinta atraviesa la zona eficaz de una malla de protección o de servicio, debe aislarse dentro de esta zona para la máxima elevación de tensión de esta malla.

## **ARTÍCULO 25º**

**25.1.-** Los conductores a tierra deberán ser ampliamente dimensionados para las corrientes a tierra previsible.

**25.2.-** No deberán intercalarse dispositivos de desconexión ni fusibles en los circuitos de tierra.

**25.3.-** Los conductores de tierra deberán ser en lo posible del mismo material que los electrodos que se emplean; su sección será de 16 mm<sup>2</sup>, por lo menos, cuando el conductor sea de cobre.

**25.4.-** Los conductores de conexión a tierra con sus conexiones y uniones en la parte que no estén enterrados deberán poder ser identificados fácilmente y accesibles para permitir su control. Deberán estar alejados de las partes combustibles de los edificios y protegidos contra los daños mecánicos y los efectos de la corrosión.

## **ARTÍCULO 26º**

**26.1.-** Cuando se construya una malla de tierra alejada de la instalación o cuando se interconecten dos mallas alejadas, la unión deberá hacerse mediante dos conductores independientes.

**26.2.-** En general se empleará la misma malla de tierra con fines de protección y de servicio, cuando ambas pertenezcan a circuitos de la misma tensión. Cuando se

empleen mallas diferentes deberá verificarse que no haya peligro para las instalaciones o las personas, para las corrientes máximas que puedan circular en las mallas.

## **ARTÍCULO 27º**

**27.1.-** Por resistencia de paso a tierra se entiende el cociente de la tensión entre un punto de la malla y la tierra propiamente dicha y la corriente que circula por la malla.

**27.2.-** Cuando se emplee una única puesta a tierra para protección y servicio, la resistencia de paso a tierra, incluyendo las conexiones, deberá ser inferior a 3 ohm si se usan las cañerías de agua como puesta a tierra e inferior a 25 ohm si se emplea otro tipo de electrodos. Cuando sea imposible obtener una resistencia inferior a 25 ohm mediante un electrodo único se colocarán dos o más electrodos distantes entre sí 2 m, por lo menos.

## **ARTÍCULO 28º**

**28.1.-** Los electrodos estarán constituidos por placas, tubos, cintas o por otras formas metálicas apropiadas.

**28.2.-** Las placas de cobre tendrán por lo menos 1 mm de espesor y las de fierro galvanizado 5 mm como mínimo.

**28.3.-** Los tubos o barras que constituyen un electrodo deberán tener un diámetro exterior de 15 mm, por lo menos y deberán enterrarse verticalmente en una longitud no inferior a 2 m. La separación entre dos barras o tubos interconectados será de 2 m, por lo menos.

**28.4.-** Las cintas que constituyen un electrodo deberán, si ellas son de cobre, tener una sección mínima de 75 mm<sup>2</sup>, y un espesor de 3 mm, por lo menos; si son de fierro galvanizado la sección no deberá ser inferior a 125 mm<sup>2</sup>, ni el espesor menor a 5 mm.

**28.5.-** Los cables o alambres que constituyan un electrodo deberán tener, si son de cobre, una sección mínima de 16 mm<sup>2</sup>, y si son de fierro galvanizado la sección no deberá ser inferior a 25 mm<sup>2</sup>.

## **ARTÍCULO 29º**

**29.1.-** Todos los electrodos deberán ser enterrados en cuanto sea posible en la tierra húmeda.

**29.2.-** En el caso que no sea posible obtener valores aceptables de la resistencia de paso a tierra, podrá recurrirse a medios artificiales, como el uso de sales, carbones, etc., siempre que se prevean los medios para su adecuada conservación.

**29.3.-** Los electrodos de tierras separadas como asimismo las conexiones a estos electrodos deberán establecerse de manera de influenciarse lo menos posible con otras puestas a tierra

## ARTÍCULO 30º

**30.1.-** En instalaciones de baja tensión de corriente alterna, el punto neutro del sistema deberá conectarse a tierra. Las instalaciones aisladas de tierra deberán ser aprobadas por la Superintendencia.

**30.2.-** El neutro deberá considerarse como un conductor con tensión.

## ARTÍCULO 31º

Toda instalación de tierra deberá ser controlada periódicamente en todas sus partes accesibles. La resistencia de paso a tierra deberá ser medida en estas ocasiones y se repararán los defectos constatados.

## INSTALADORES AUTORIZADOS POR LA SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES (SEC)

En Chile, a través de la SEC y de acuerdo con lo establecido en el [Decreto Supremo Nº 92](#) de 1983 y sus modificaciones, la SEC entrega cuatro tipos de licencias (A, B, C y D) para instaladores eléctricos, según el grado de conocimiento necesario para el diseño y mantenimiento de la instalación.

- **Clase A**

Para realizar instalaciones de alta y baja tensión, sin límite de potencia instalada. Para esta licencia se requiere título de Ingeniero Civil Electricista, Ingeniero de Ejecución Electricista, o equivalentes.

- **Clase B**

Permite ejecutar instalaciones de baja tensión, con 500 kW máximo de potencia instalada. Incluye:

Instalaciones que conllevan riesgo de explosión o incendio o que sirven para espectáculos públicos o de diversión.

Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 100 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.

Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión con un máximo de 50 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.

Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 10 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.

Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión, con un máximo de 5 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.

Para esta licencia se requiere ser titulado de Técnico Electricista, o su equivalente, en

algún centro de estudios superiores aceptado por esta Superintendencia.

- **Clase C**

Permite realizar instalaciones en baja tensión. Incluye:

- Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 100 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.
- Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión con un máximo de 50 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.
- Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 10 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.
- Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión, con un máximo de 5 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.

Para esta licencia se requiere ser titulado de Técnico Electricista, o su equivalente, en algún centro de estudios superiores.

- 

- **Clase D**

Permite realizar instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 10 kW de potencia total instalada, sin alimentadores; e instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión, con un máximo de 5 kW de potencia total instalada, sin alimentadores. Para esta licencia se necesita un título en la especialidad de electricidad en algún centro de estudios superiores.

## **BLOQUEOS Y TARJETAS PERSONALES**

### **PROPOSITO / OBJETIVO:**

Establecer requerimientos de un sistema estandarizado de Bloqueo de las Energías Presentes en las tareas que se desarrollen, que garanticen su total aislamiento y posterior bloqueo con el propósito de evitar la actuación, energización o movimiento inesperado (Energías Ocultas) de un sistema u equipo, mientras personal se encuentre realizando intervenciones donde pueda estar expuesto a ellas.

## ALCANCE

- Estándares o Procedimientos aplicables a todos los trabajos de cualquier Empresas de Servicios, cuya naturaleza corresponda a: Mantenión, Reparación, Construcción, Inspección de equipos, Maquinarias o Instalaciones, en que existan riesgos de liberación o actuación imprevista de energías presentes en una faena.
- Energías Presentes.- En una Faena o Trabajo se puede dar cualquier combinación del total de energías dadas a continuación:

Eléctrica	Lumínica	Mecánica	Térmica
Eólica	Solar	Nuclear	Cinética
Potencial	Química	Hidráulica	Sonora
Radiante	Fotovoltaica	De Reacción	Iónica
Geotérmica	Mareomotriz	Metabólica	Electromagnética
Hidroeléctrica	Magnética	Alorífica	Electroestática

Energías.- Se destaca, que siempre en una faena se va a encontrar, por ejemplo, una energía Principal (Electricidad) y un grupo de Energías Secundarias (del total mostrado) asociado a la energía principal.

### Asesores de Seguridad

- Realizar revisiones periódicas para verificar la correcta aplicación del presente procedimiento y el correcto uso de los elementos de bloqueo.

### Supervisor de Área (Jefe de Turno, Líder de Turno y/o Supervisor)

- Autorizar a través de un Permiso de Trabajo la entrega del o los equipos y/o áreas solicitados por los Supervisores o ejecutores de las actividades de las distintas áreas y especialidades de acuerdo a lo indicado en este procedimiento.

### Ejecutor de la Actividad o Jefe de Faena

- Gestionar las autorizaciones requeridas para intervenir un equipo, con el Supervisor de Área que corresponda.
- Si en la actividad interviene más de una persona, verificar que todo el personal cumpla con lo establecido en el presente procedimiento.
- Verificar que los bloqueos de su personal a cargo sean correctamente realizados.
- Recepcionar y Entregar equipos conforme al procedimiento en ejecución.

### **Mantenedores Autorizados (Eléctricos, Mecánicos e Instrumentistas)**

- Son los responsables de ejecutar y aplicar, de acuerdo a procedimientos, el aislamiento, bloqueos y verificación de potencial cero presentes en el equipo, instalaciones y/o circuitos eléctricos

### **Personal que Interviene Equipos**

- Todos y cada una de las personas que deban intervenir un equipo o instalación (línea de mando y trabajadores), deben conocer el procedimiento de bloqueo y haber recibido la inducción y aprobación previa.
- Serán responsables de la instalación de su sistema de bloqueo (candado, pinza y tarjeta) personal en el punto que les designe el encargado de la actividad.

## **REFERENCIAS**

### **Decreto Supremo Nº132, Reglamento de Seguridad Minera.**

#### **Artículo 52**

Previo a efectuar la mantención y reparación de maquinarias o equipos se deben colocar los dispositivos de bloqueos y advertencia, que serán retirados solo por el personal a cargo de la mantención o separación, en el momento que esta haya terminado.

Antes de que sean puestos nuevamente en servicio, deberán colocarse todas sus protecciones y dispositivos de seguridad y someterse a pruebas de funcionamiento que garanticen el perfecto cumplimiento de su función.

#### **Artículo 53**

Si por cualquier razón, una persona debe introducir en el interior de una maquina su cuerpo o parte del, la maquinaria deberá estar completamente bloqueada, desenergizada e inmóvil, enclavada de tal manera que no pueda moverse y lesionar a dicha persona o a otro. Tal operación será diseñada de forma que solamente la persona introducida en la maquina pueda desenclavarlo y que para hacerlo deba salir de ella.

Este tipo de operaciones debe ser realizado mediante un procedimiento específico de trabajo seguro.

#### **Artículo 54**

Si la reparación de un equipo requiere pruebas o ajustes para los cuales sea necesario energizar y mover la máquina, habiendo personal expuesto, se deberá contar con un análisis de riesgo y procedimiento específico de la tarea y todo el personal participante deberá estar instruido al respecto

## **2. Instalaciones de Fuerza**

Todo tablero de comando o centro de control de equipos pertenecientes a una instalación de fuerza deberá instalarse con vista al equipo o máquina comandada.

Se exceptuarán de la exigencia del párrafo 12.0.1.5 a aquellas máquinas o equipos que por razones de operación o de terreno deban instalarse en puntos remotos, en estos casos, sin embargo, deberá existir un enclavamiento que impida alimentar el equipo cuando se esté trabajando en él. Este enclavamiento se implementará de alguna de las siguientes formas:

- a) Enclavamiento instalado para ser operado desde un punto con vista al equipo;
- b) Un interruptor operado manualmente ubicado con vista al equipo que la desconecte de la alimentación.
- c) Interruptor operado en forma manual, instalado en una ubicación remota sin vista al equipo, que lo desconecte de la alimentación de fuerza, cuya operación esté restringida sólo a personal autorizado. Para cumplir este fin se bloqueará la operación del interruptor mediante uno o más candados de seguridad y se seguirá un procedimiento establecido en forma escrita para bloquear o desbloquear este interruptor.

## **3. Terminología / Siglas técnicas**

**ART:** Análisis de Riesgo en el Trabajo, técnica preventiva orientada a la identificación de riesgos previo a ejecutar una tarea, de tal forma de establecer a medidas de control de los riesgos detectados.

**Aislamiento:** Es la desconexión de todas las fuentes de suministro de energías conocidas

**Fuentes de energía:** Las fuentes de energía son aquellas que permiten el accionamiento de un EQUIPO, la cual puede ser eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, térmica, nuclear, gravitacional, etc.

**Dueño de Área:** Persona responsable del proceso y equipos de un sector definido de operación, respecto del cual debe dar las garantías suficientes de seguridad a las personas e instalaciones.

**Fuente Energía Principal:** Cualquier fuente que da origen a la energía: eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, química, térmica u otra energía que tenga la capacidad o el potencial de causar lesiones o daños a los trabajadores que efectúen operaciones de servicio o mantenimiento de equipos, maquinarias e instalaciones, cuya

energía pueda ser aislada y bloqueada con un sistema de candado y tarjetas de advertencia.

**Fuentes de Energías Secundarias:** Corresponde a las energías presentes en la faena, distinta de la Energía Principal. Corresponde bloquearlas una a una, con procedimientos definidos con antelación. Ejemplo: Radiación Solar, Ruidos, Olores, Gases Tóxicos, Energía Potencial, Energía Cinética, etc.

**Energía Residual:** Son las energías potencialmente peligrosas que están presentes en el equipo (aun después de haber controlado las energías de operación) y que pueden liberarse, sin control, durante los trabajos.

**Energía cero:** Se define como la carencia total de fuentes de energía incluyendo las residuales en un equipo, instalación y/o circuito.

**Teste de Energía Cero:** Test que considera:

1. Test de Potencial Cero: Consiste en testear la ausencia de energía a través de equipos de acuerdo a nivel de tensión.
2. Prueba de Equipo Muerto: Consiste en dar la partida a los equipos, en terreno o en sala de control con la finalidad de comprobar la ausencia de energía en los equipos antes de proceder a trabajar.

Consiste en que el operador de terreno de la partida a un equipo por sus controles de terreno y/o sus controles remotos, activación de terreno de los mecanismos u otro tipo de test que verifique la remoción física de cualquier conexión o medio donde la energía viva o remanente pueda activar, mover o transmitirse al equipo, persona o medio ambiente, es efectiva.

**Ejecutor de la Actividad:** Persona autorizada por el dueño del área para intervenir un equipo, instalación y/o circuito y realizar alguna actividad como mantenimiento, reparación, limpieza, inspección, construcción, etc.

**Desenergización:** Se refiere a la interrupción del flujo de los diferentes tipos de energía indicados en el punto anterior.

**Bloqueo:** Acción destinada a evitar mediante un elemento físico y tangible, el accionamiento de todos los mecanismos que suministran los distintos tipos de energía al EQUIPO que se requiere intervenir. En cada acción de bloqueo se deberá verificar la existencia de potencial cero. El bloqueo debe asegurar una desenergización permanente del EQUIPO a intervenir.

**Intervención:** Acción de tomar contacto o estar expuesto al alcance de la fuente de energía de todos o parte de los componentes de un equipo o instalación, por personas que van a realizar en él una actividad de mantención, reparación, limpieza, inspección, calibración, ajuste o cualquiera otra que implique un mínimo contacto con él.

**Tarjetas de advertencia de bloqueo:** Son sistemas visuales de identificación y señalización que tienen como propósito advertir el bloqueo o la inmovilización de un EQUIPO. Deberán estar siempre colocadas junto con el candado de bloqueo, en los puntos de bloqueo de la fuente de energía o en la Estación de Bloqueo, en un lugar

visible, de tal manera, que adviertan claramente la acción de bloqueo o aislamiento de ésta. Las tarjetas de bloqueo se dividen en:

**Tarjeta de Bloqueo Personal:** Son las utilizadas para identificar a las personas que están interviniendo el equipo o instalación.

**Tarjeta de Bloqueo Departamental:** Son las utilizadas para identificar las áreas dueñas de la tarea que se está realizando y que es la encargada final de entregar la tarea.

**Candados personal de bloqueo:** Elemento con el cual se realiza el bloqueo del accionamiento de una fuente de energía. El candado de seguridad consta de una SOLA llave, la cual se asigna a cada trabajador. Cada trabajador deberá poseer al menos un candado con llave única.

**Candado Departamental de Bloqueo:** Este candado es asignado a un área de trabajo, para realizar el bloqueo Departamental realizado por el eléctrico autorizado de turno, el mecánico, operador y personal de proyecto.

Este candado debe cumplir las mismas especificaciones técnicas que el candado personal, pero es de color negro.

**Pinzas de seguridad portacandados:** Son dispositivos metálicos que permiten multiplicar el número de candados de bloqueo.

**Dispositivo para aislar energía:** Son mecanismos que físicamente evitan la transmisión o descarga de energía como por ejemplo: Interruptor desconector, interruptor manual, válvula de cuchillo, flange ciego, bloques metálicos para sostener o trabar equipos, etc.

**Etiquetas de advertencia de necesidad de bloqueo:** Indica la obligatoriedad de que un EQUIPO sea bloqueado para ser intervenido, o bien el lugar donde debe colocarse el bloqueo.

**Libro registro de candados:** Libro destinado a llevar el control de los candados entregados y en el cual se debe registrar el nombre del trabajador al que se entregó el candado a cargo, la empresa a que pertenece, la fecha de entrega.

**Libro de registro de bloqueo:** Está destinado a llevar un control de los bloqueos realizados a las instalaciones o equipos de alta criticidad establecidos por cada gerencia (ej: Salas eléctricas). En el libro de registro de bloqueos se deben anotar los siguientes datos:

- Fecha y hora de la solicitud
- Nombre del trabajador y empresa
- Número de candado
- Identificación del EQUIPO y el trabajo a efectuar
- Fecha y hora de retiro del candado

**Bloqueo Departamental:** Este tipo de bloqueo se refiere al utilizado sólo por el personal eléctrico, mecánico, operaciones planta, operaciones mina y personal de proyecto al inicio del procedimiento de bloqueo, siendo éstos los primeros bloqueos en instalarse, para lo cual, el personal definido para ellos, lo realiza utilizando candados

color negro y tarjetas departamentales que se encuentran definidos por el área (especialidad) para la actividad. Además debe dejar registro en el libro de bloqueo del área.

**Identificación de Punto de Bloqueo:** Corresponde a identificar el punto exacto en el equipo para poner el bloqueo correspondiente, el cual puede ser mecánico, eléctrico, etc.

## DESCRIPCION DEL DOCUMENTO/ACTIVIDAD

### Requerimientos Generales de Operación

Cada trabajador que de acuerdo a sus obligaciones funcionales y operativas deba intervenir un EQUIPO, obligatoriamente deberá contar con una tarjeta de advertencia de bloqueo personalizada y un candado para bloqueo con llave única. De requerir mayor cantidad de candados y tarjetas por la naturaleza de la tarea a desempeñar, estos deberán ser entregados de acuerdo a lo indicado en el punto Candado Departamental de Bloqueo.

Cada gerencia o Superintendencia debe analizar los equipos e instalaciones con que cuenta, su ubicación, colocación y sistema de bloqueo a usar, por lo tanto, el procedimiento específico deberá quedar escrito, sancionado y revisado y difundido en el área.

### Procedimiento general de Bloqueo

- a) **Aislamiento de equipos:** el trabajador debe poner en funcionamiento todos los sistemas de aislamiento de energía, de modo que el equipo quede completamente aislado de su fuente de energía principal.
- b) **Colocación de candados y avisos:** todos los sistemas de aislamiento de energía deben ser rotulados y aislados mediante la colaboración de candados y tarjetas de bloqueo, departamental y personal, quedando prohibido el uso de éstos para otras funciones o el reemplazo por otros similares no autorizados. Cuando se utiliza el sistema de bloqueo, cada trabajador involucrado en la tarea debe colocar su candado personal, para lo que se proveerá de una pinza de seguridad porta candados. En esta etapa debe ser bloqueado el equipo por el dueño del área en conjunto con los mantenedores especialistas en la fuente de energía.
- c) **Control de energía Residual:** el hecho de que el equipo o la instalación esta desconectada de su fuente de alimentación, no implica que el trabajador esté libre de ser expuesto a energía que pueda haber quedado almacenada en forma residual. Debe seguir los siguientes pasos que correspondan:

Es de responsabilidad del Dueño del Área controlar energía cero, en conjunto con mantenedor, antes de intervenir o entregar el área para Bloqueo.

### **Método para retirar los candados y avisos:**

Una vez concluido el trabajo debe tomarse las siguientes medidas para retirar los sistemas de bloqueo:

- a) Remover todas las herramientas del área de trabajo y asegurarse de que el sistema está completamente ensamblado.
- b) Contabilizar el número de trabajadores presentes durante la tarea y dar aviso a todos los que estén trabajando en el área asegurada.
- c) Los candados y tarjetas de bloqueo deben ser removidos por la misma persona que los instaló.
- d) Una vez retirados todos los bloqueos del equipo y comunicado al grupo de trabajo, se procede a energizar el sistema.

### **Situaciones especiales:**

- Las tarjetas personales deberán ser de un material que resista las condiciones de trabajo en las cuales van a ser utilizadas ver anexo nº1
- Deben contener la siguiente información
  - Logo de la Empresa.
  - Nombre del trabajador.
  - Rut.
  - Cargo.
  - Área.
  - Foto del trabajador.
- Las tarjetas Departamentales deberán ser de un material que resista las condiciones de trabajo en las cuales van a ser utilizadas Ver anexo nº2
- Deben contener a lo menos la siguiente información
- Logo de la Empresa.
- Nombre del Gerencia o Superintendencia.

### **REGISTROS**

Libro de registro de candados.

Libro de registro de Bloqueo.

Instrucción de procedimientos de bloqueo.

### 3.1 Transformadores de potencial

La función de los transformadores es transformar altas corrientes y tensiones de forma proporcional y en fase a valores bajas de corriente o de tensión apropiados para fines de medición y protección. Es decir, que sirven para medir o registrar la potencia transmitida, o bien para abastecer a los relés de protección con señales evaluables que le pongan al relé de protección en condiciones, por ejemplo, de desconectar un dispositivo de maniobra según la situación. Además se encargan de aislar de forma eléctrica a los equipos de medida y protección conectados contra las partes de la instalación que estén



**Figura 2**

#### **Transformador de tensión**

Los transformadores de tensión están contruidos con un solo núcleo magnético, y normalmente están diseñados con un arrollamiento secundario tan sólo. En caso necesario, los transformadores de tensión puestos a tierra (monofásicos) disponen de un arrollamiento de tensión residual adicional aparte del arrollamiento secundario (arrollamiento de medida).

A diferencia de los transformadores de corriente, los transformadores de tensión nunca deben ponerse en cortocircuito en el lado secundario. El borne del arrollamiento primario en el lado de tierra está puesto a tierra efectivamente en la caja de bornes, y no debe ser retirado durante el servicio

## Clase del Transformador

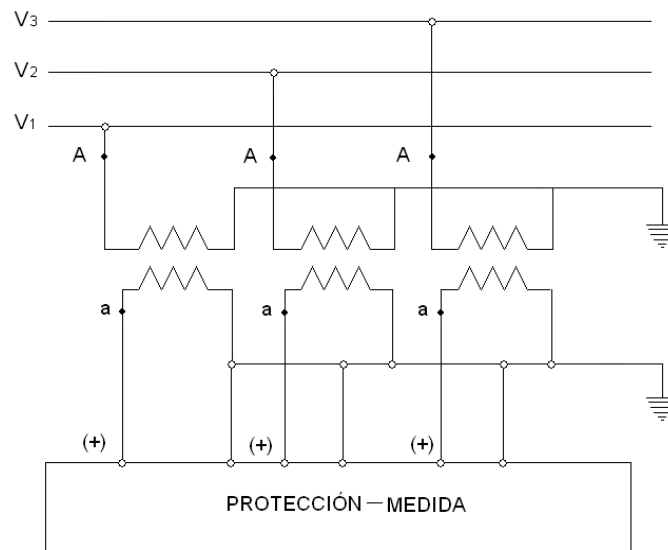
Nivel de Saturación y Clase de Precisión (IEC)

Facturación Clase 0.2,  $\pm 0.2 \% E_{\max}$

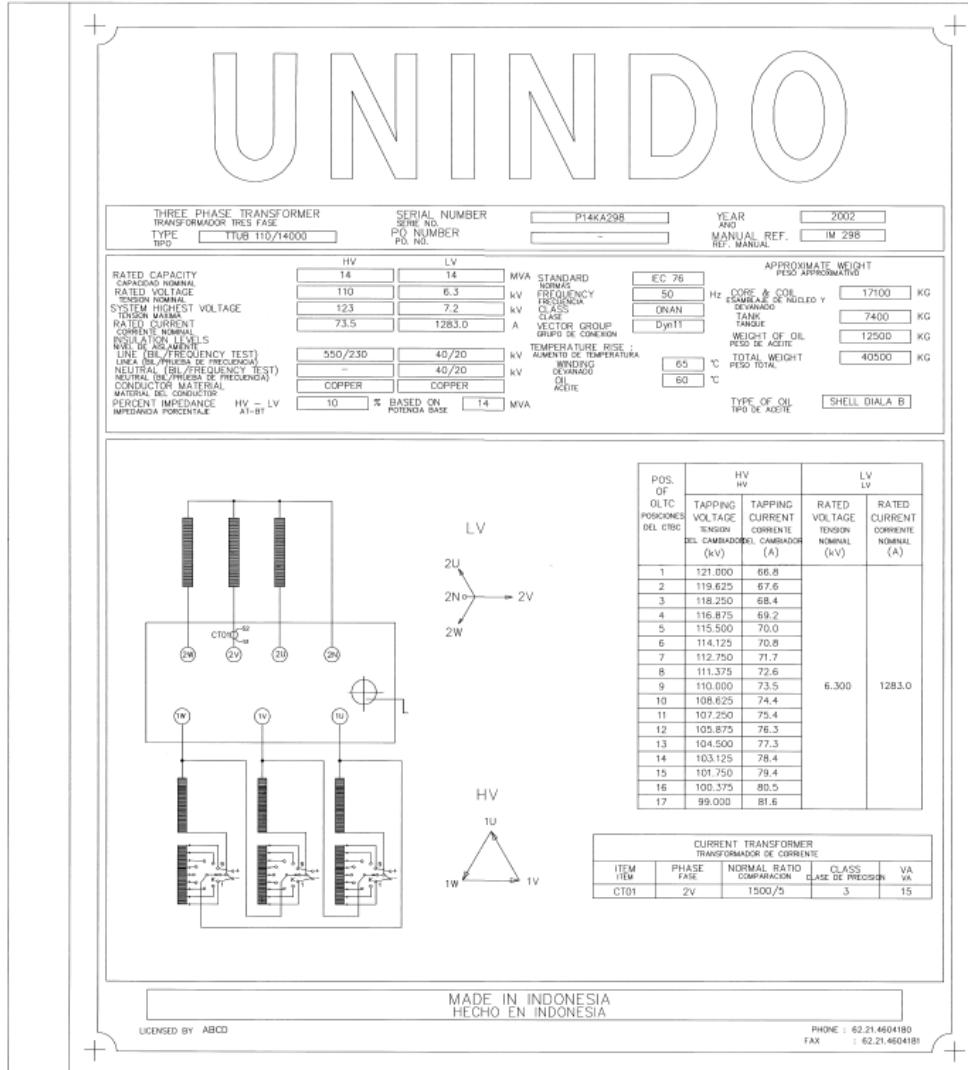
Medidas Clase 0.3,  $\pm 0.3 \% E_{\max}$

Protección Clase 3P  $\pm 0.3 \% E_{\max}$

Clase mide el grado de “precisión” en la lectura voltaje del transformador. La Clase indicada 0.2 indica un Error del equipo  $\pm 0.2 \% E_{\max}$



**Figura 3**  
**Diagrama unilineal (polaridad)**



**Figura 4**  
**Placa característica de un transformador de poder**

## Conexiones

Primario conexión en Delta

Secundario conexión Estrella con Puesta a Tierra

Capacidad o Potencia : 14 MVA

Razón de Transformación Voltajes : 110/6.3 KV

Razón de Transformación de Corriente : 73.5/1283 Amperes

% Impedancia : 10 %

Normas de Construcción : IEC 76

Clase de Enfriamiento : ONAN (Enfriamiento por aire Normal)

Grupo de Conexión (Vector) : Dyn11

Cambiador de Taps Bajo Carga Regulador de Voltaje:

Corresponde a un Regulador de Voltaje que permite mantener constante el Lado Secundario, ajustando en forma automática el lado Primario.

Dispone de en el lado Primario de 110 kV de 17 rangos de ajuste, definiendo ocho pasos sobre 110 kV y ocho pasos bajo 110 kV.

Puede observarse que el Taps o Posición (9) corresponde al Nivel Nominal de 110 kV, a partir de ahí se encuentran los pasos (8) mayor de 110 KV y (8) menores de 110 kV. La consigna del Regulador de Voltaje es Mantener 6.3 kV en el lado Secundario.

% de Impedancia (%Z) o Característica de Impedancia.- El valor dado por el fabricante es 10%

Técnicamente significa que el fabricante vende un producto con una característica de pérdida o potencia que consume el equipo, equivalente a relacionar las siguientes variables eléctricas:

$P(\text{Base}) = \text{MVA del equipo} = 14 \text{ MVA}$

$V(\text{Base}) = \text{kV del equipo} = 110 \text{ kV}$

$I(\text{Base})$

$Z(\text{Base})$

$Z(\%) = 10\%$

$Z (^{\circ}/1) = 0.01$

$Z (\text{Ohm})$

El uso de estas relaciones y sus datos permiten determinar Z (Ohm) del transformador el cual relaciona las llamadas:

## Pérdidas en el Cobre y las Pérdidas Magnéticas

Las Pérdidas en el Cobre o del Enrollado se determinan mediante medidas “Resistances Winding Measurement” y deben ser parte de los Datos y Pruebas entregados por el fabricante en el proceso de compra.

Conocido “r” en Ohm y Z(Omhs) se determina la “Reactancia” (X1), reactancia de Secuencia Positiva, que junto con (X2), Reactancia de Secuencia Negativa y (X0) Reactancia de Secuencia Cero, definen la conducta del Transformador durante una falla del sistema al cual está conectado.

## TRANSFORMADOR DE MEDIDA (TP)

**Razón de Transformación** = Voltaje Primario/Voltaje Secundario

**Voltaje Primario** = Definido por el Proyecto

**Voltaje Secundario** puede ser:

- (a) 100 V
- (b) 110 V
- (c) 115 V
- (d) 120 V

## Capacidad de Prestación

Se mide en (VA) y la define el proyecto

Potencia en VA  $> \Sigma$  “VA” conectado al PT

## Mantenimiento

### Diagnóstico Transformador de Potencial:

#### La medida de la tangente Delta

Es un criterio comúnmente usado, para calificar el estado del material dieléctrico de un equipo eléctrico primario de alta tensión. La tangente delta es la razón de pérdidas dieléctricas a los volt amperes de carga, ante un delta pequeño que determina un buen estado de la aislación. Entrega información sobre el grado de humedad y contaminación del sistema dieléctrico primario, pueden medir capacitancia, perdidas dieléctricas y tangente delta, observar cambio de estas características.

## **Factor de Potencia**

La medida del Factor de Potencia es el criterio más comúnmente usado, para calificar el estado del material dieléctrico de un equipo eléctrico primario de alta tensión. Es una prueba de c.a., el factor de potencia es la razón de las pérdidas dieléctricas a los volt amperes de carga

## **Medida de Resistencia de Aislamiento**

La medida de resistencia de aislamiento de un punto vivo de un circuito con respecto a otro aislado del primero o la medida con respecto a masa, consiste en medir la resistencia que ofrece la aislación entre estos dos puntos del circuito eléctrico. La medida en sí, consiste en aplicar una tensión continua durante un minuto entre los puntos de medida, luego medir directamente la resistencia de aislamiento o la corriente de fuga que se produce y luego calcular

## **Índice de Polarización (IP) y la Relación de Absorción (RA)**

Para equipos de poder que están formados por enrollados. Donde se programa el instrumento para que durante 10 minutos mantenga una tensión entre un punto del circuito activo y tierra, anotando los valores de resistencia de aislamiento a los 30" y 60" y al final de cada minuto.

## **Luego se calcula**

Resistencia de Absorción  $RA = R_{60''}/R_{30''}$  y el índice de polarización  $IP = R_{10'}/R_{1'}$ . Ambos son indicadores del estado del material dieléctrico que forma la aislación de los enrollados.

## **Medidas de Razón de Transformación**

Medir y obtener la razón de transformación entre dos bobinados (primario y secundario) de un transformador correctamente significa que se obtiene un valor determinado y que resulta del cociente del voltaje aplicado a un bobinado y el medido en el otro bobinado

Medida de resistencia de aislamiento de los conductores eléctricos de alta, baja y media tensión normas DIN UDE. Medida de resistencia de aislamiento para motores IEEE Std 43-2000 Medida de resistencia de aislamiento en transformadores IEEE STD C57.12.90



**Figura 5**  
**Medidor de Aislación Digital de 1000 Volts**

#### **Características Principales:**

- Combinación de Tensiones de Prueba 250 Volts, 500 Volts y 1000Volts
- Mediciones de Aislamiento hasta 4000M Ohm
- Mediciones Aislamiento hasta 4000 Ohm. Prueba de Continuidad
- Zumbador de Continuidad. Rango de Tensiones de Prueba hasta 600 Volts CC/CA
- Pantalla Digital Grande fácil de leer. Selector de Retención de Datos.
- Descarga automática al liberar el botón de prueba.
- Indicador de batería con Baja Carga

### **3.2 Transformadores de corriente**

#### **Características de Construcción**

Los transformadores están diseñados en diversos tipos constructivos para cumplir el gran número de requisitos de montaje y condiciones de servicio a las que están sometidos. Se trata de dispositivos que transforman magnitudes eléctricas primarias, corrientes o voltajes a valores proporcionales y en fase adecuados para los equipos conectados, tales como:

- Instrumentos de medida
- Medidores de Energía
- Sistemas de Protección.

**Se pueden seleccionar los siguientes tipos de transformadores:**

## **Transformadores de corriente (TC)**

### **Tipo bloque**



**Figura 6**

**Tipo bloque**

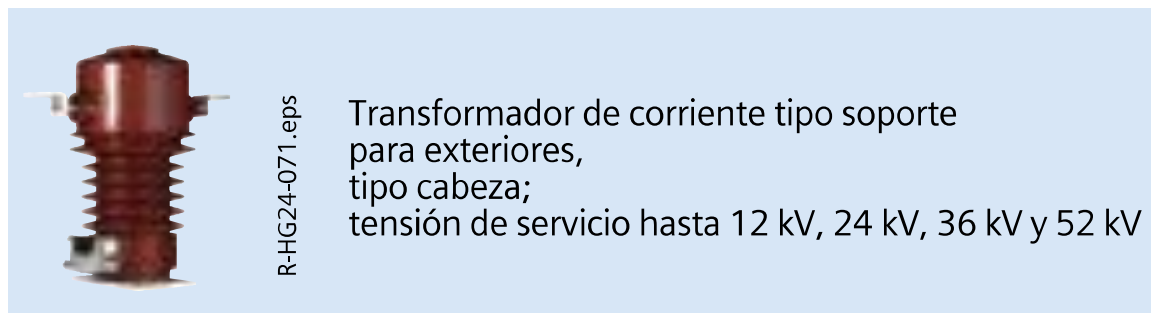


**Figura 7**

**Tipo pasatapas para interiores, ejecución con una sola espira**



**Figura 8**  
**Transformador en ejecución para exteriores**



**Figura 9**  
**Transformador de corriente tipo soporte para exteriores Antecedentes Técnicos**

Nivel de Saturación y Clase de Precisión (IEC)

Núcleo de Facturación Clase 0.2, FS (Factor de Saturación)  $\leq 5$

Núcleo de Medidas Clase 0.3, FS  $\leq 5$

Núcleo Protección 5P20

5 Error Compuesto  $\leq 5$

P20 Para 20 veces  $I_N$  Primaria

## Razón de Transformación

$$R_{T/C} = I_{PRIMARIA} / I_{SECUNDARIA}$$

**Dónde:**

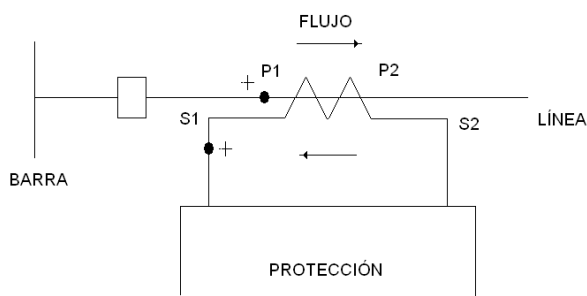
**RT/C = Razón de Transformación**

**IPRIMARIA = Corriente Primaria. Debe ser de 1.2 a 2.0 veces INominal de carga**

**ISECUNDARIA = Corriente Secundaria Normalizada debe ser 1.0 A y 5 A**

**La CLASE DE PRECISIÓN SE GARANTIZA PARA  $I_C > 0.2 I_N$**

**SIMBOLO O DIAGRAMA**



**Figura 10**

### 3.3 El mega óhmetro (megger, hipot, Bauer, etc.)

Un megger o megger es un instrumento utilizado para medir resistencias muy altas (medidas en millones de ohmios), que es el tipo de resistencia que usted esperaría encontrar en una buena aislación. Una prueba de megger es una prueba de aislación efectuada solo en equipos des-energizados. La mayoría de los meggers son manuales, pero algunas son unidades accionadas por batería, o por motor. La Figura 11 muestra un megger típico.



**Figura 11**  
**Megger típico**

Un megger tiene rangos nominales en voltios, y entrega corriente CC desde un generador CC incorporado. La tensión más común del megger es 500 V, pero los hay también con 100 V, 1000 V, 2500 V, 5000 V y 15000 V. Algunos meggers tienen varios rangos de tensión.

La aislación debería probarse con una tensión específica. Por ejemplo, el equipo clasificado para 2400 V se probaría utilizando un megger de 1000 V o 2500 V. Un megger de 5000 V se utilizaría para probar un equipo clasificado para 5 kV. Refiérase a la información del fabricante en cuanto a los voltajes de prueba recomendados para el equipo.

Usted puede usar los meggers de baja tensión para revisar continuidad, o verificar que no existan fallas de cortocircuitos o de falla a tierra en un cable o pieza de un equipo. Muchos meggers tienen un terminal “guarda”, que deriva cualquier corriente de fuga alrededor del instrumento, y así evitar medir la corriente de fuga que se desliza sobre la aislación. Esta corriente es producida por la humedad o contaminación en la superficie del cable, y debería ser muy insignificante si la aislación se encuentra limpia y seca.

### **Riesgos y precauciones**

Los medidores de aislación de alto potencial (Hi- Pots), y algunos meggers utilizan tensiones altas. Algunos de estos medidores están equipados con resistores de descarga (*discharge resistors*), y usted debería asegurarse que los equipos capacitivos se descarguen antes y después de efectuar las pruebas de aislación.

Antes que el megger pruebe un cable o pieza des-energizado, se recomienda que dicho cable o equipo se conecte a tierra por un tiempo para disipar cualquier carga que pueda existir después de haber estado energizado. Esta es una precaución que evita el introducir errores de lectura producidos por las cargas residuales.

Utilice un megger de tensión adecuada, como la especifica el fabricante del equipo que se está probando. Y, por supuesto, un **megger nunca debe conectarse a un circuito energizado.**

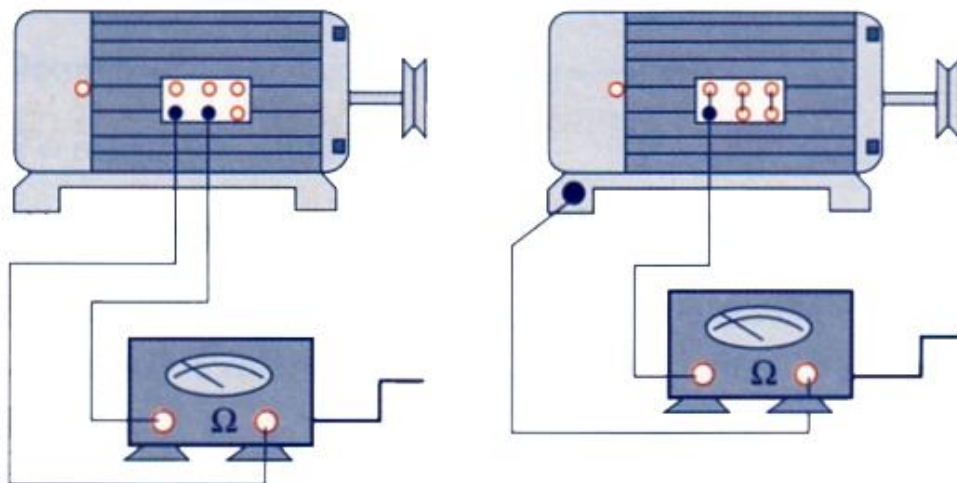
Tenga conciencia del posible restablecimiento del voltaje producido por el fenómeno de absorción, y de mantener el equipo conectado a tierra y en cortocircuito hasta que esté preparado nuevamente para ser re-energizado. También, si trabaja con equipo de prueba en una atmósfera inflamable o explosiva, tenga en cuenta el riesgo posible que significa la formación de arcos.

Las descargas disruptivas tales como arcos o chispas se puede producir:

- Cuando conecta puntas de prueba a equipos que no se han descargado por completo
- Después de hacer una prueba y se produce la descarga de la carga capacitiva
- Debido a una falla de aislación durante una prueba

### Procedimiento de prueba con un megger

Refiérase a la Figura siguiente cuando lleve a cabo el siguiente procedimiento para la prueba del megger.



**Figura 12**  
**Prueba de un aislador con megger**

1. Conecte las puntas de prueba del megger para al conductor que será probado y a la carcasa del equipo o blindaje metálico del cable (tierra).
2. Gire la manivela rápidamente, a una velocidad uniforme. Si la aislación es buena, el megger indicará primero una resistencia baja (fenómeno de corriente de carga de un condensador) y luego la resistencia aumentará.
3. Continúe hasta que la aguja del medidor se sitúe en un valor estacionario. El tiempo dependerá de la capacitancia del equipo sometido a prueba. Registre la lectura.
4. Cuando haya finalizado, si el megger tiene una posición de descarga, utilícela para extraer cualquier carga acumulada.

Si se utiliza un megger de AT, recuerde usar guantes de goma y una varilla de aislación (hot stick), para conectar a tierra el conductor después de la prueba.

### **Describa las pruebas no destructivas del equipo y los cables**

Las pruebas de alto potencial, denominadas comúnmente pruebas hypot, son ejemplos de pruebas no destructivas. Las pruebas no destructivas son procedimientos que prueban minuciosamente el equipo más allá de sus rangos normales de operación, pero no al punto donde podría dañarse el equipo. Las pruebas hypot a menudo se hacen al completar empalmes, terminaciones, o después de reparaciones, para verificar que el trabajo se ha realizado en forma adecuada.

El equipo de prueba hypot también puede utilizarse para:

- Pruebas de diseño (pruebas destructivas de laboratorio).
- Pruebas de fábrica (pruebas de los fabricantes para asegurar la deformación con los estándares).
- Las pruebas de comisionado (inmediatamente después de la instalación del equipo, pero antes de la energización).
- Las pruebas de marcha blanca (después de la instalación y energización, pero durante el periodo de garantía).
- Las pruebas de mantenimiento (intervalos normales de mantenimiento).

Las especificaciones no siempre indican o explican en forma clara las tensiones de prueba, y los procedimientos de prueba también pueden variar. La tensión de prueba debe ser mayor que el voltaje nominal del equipo si usted desea obtener una evaluación razonable de la condición de la aislación. Se utilizan diferentes fórmulas para fijar las tensiones de prueba, y se deben consultar los manuales y catálogos entregados por los fabricantes del equipo y por los representantes de dicho fabricante. La experiencia, el conocimiento y las prácticas previas son a menudo la mejor guía.

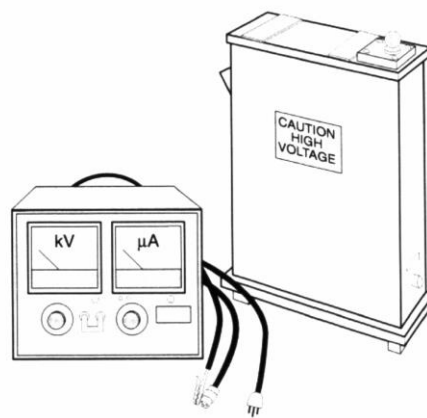
## Pruebas de potencial alto de CC versus CA

Los medidores hypot pueden ser de CC o CA, pero la prueba hypot de CC es más común por muchas razones:

- Una tensión de CC produce una corriente de carga inicial que disminuye rápidamente a un nivel bajo.
- Con una tensión de CA, debido a la naturaleza capacitiva de la aislación, ésta puede tomar una cantidad considerable de corriente CA, y ésta es una corriente constante. De modo que la información obtenida acerca de la aislación es ambigua, y el rango nominal en KVA del equipo de prueba deberá ser mayor para suministrar este mayor valor de corriente más significativa. Esto agrega al tamaño, peso y costo del equipo de prueba.
- Una prueba hypot de CA es principalmente una prueba Pasa /No Pasa en la cual el voltaje es aumentado a una magnitud específica y la aislación puede romperse en cualquier punto. Si el cable no falla, se considera adecuada su aislación. En todo caso, no se sabrá el margen de cuanto sobrevivió el cable a la prueba, o cuan cerca estuvo la aislación de fallar.
- Por otra parte, una prueba hypot de CC puede indicar cuán buena o mala es en realidad la aislación, y una prueba de CC es improbable que dañe la aislación si se siguen los procedimientos de prueba adecuados.

## Características para la prueba Hypot de CC

Los medidores hypot (Figura 13) son portátiles, aunque algunos requieren un carro para transportarlos. A diferencia de los meggers, en los medidores hypot las lecturas están en unidades de corriente ( $\mu A$  o mA), mientras que las lecturas del megger se expresan en unidades de resistencia (Ohm). También, normalmente los medidores hypot utilizan tensiones más altas, y tienen una capacidad de salida de energía mayor que los meggers.



**Figura 13**

**Probador hypot CC de gran potencial**

## Corrientes de aislación

El flujo de corriente total durante cualquier prueba de aislación de CC, consistirá en:

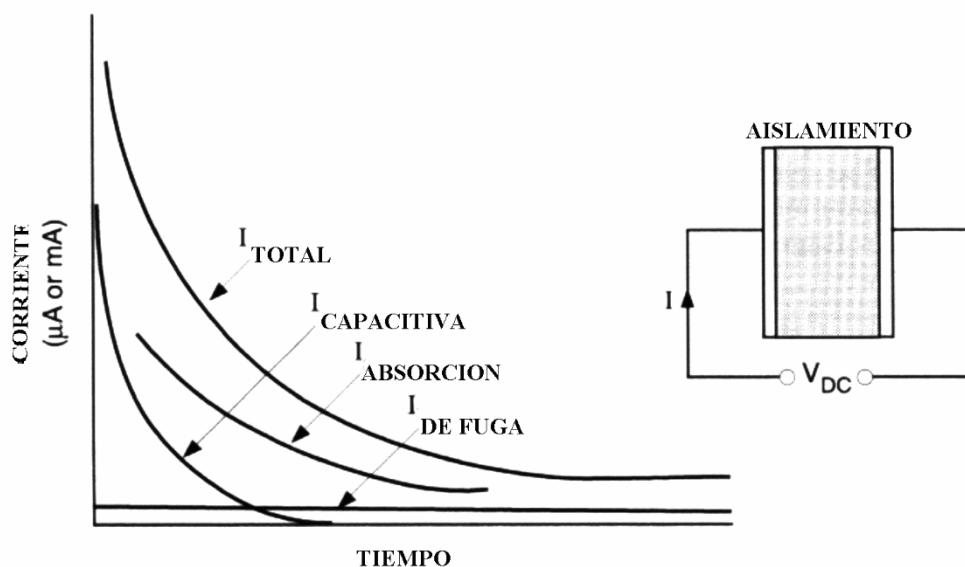
- Un elemento de corriente de fuga (leakage-current)
- Un componente de corriente de carga capacitiva
- Un componente de corriente de absorción

Refiérase a la Figura siguiente, la que muestra el flujo de corriente durante una prueba de aislación de CC.

La *corriente de fuga* incluye la corriente que fluye a través y por sobre la aislación. La corriente debería ser baja pero constante, y proporcional al voltaje.

El componente de corriente *de carga del condensador*, parte a un nivel alto y después disminuye después que la aislación se ha cargado al voltaje de prueba. El tiempo que toma depende de la capacitancia del equipo bajo prueba.

La *corriente de absorción* decaerá desde un valor inicial alto, pero probablemente ésta persista mientras se aplique el voltaje.



**Figura 14**

### Flujo de corriente CC en la aislación

Tenga en cuenta que estas corrientes normalmente se encuentran en forma inicial en la región miliamperio, y a menudo en el margen de microamperio una vez que disminuyen a condiciones de estado estacionario.

La humedad en la superficie o en el aislación en si aumentará severamente la corriente de fuga. Por esta razón, asegúrese que el equipo bajo prueba esté seco. Si el equipo

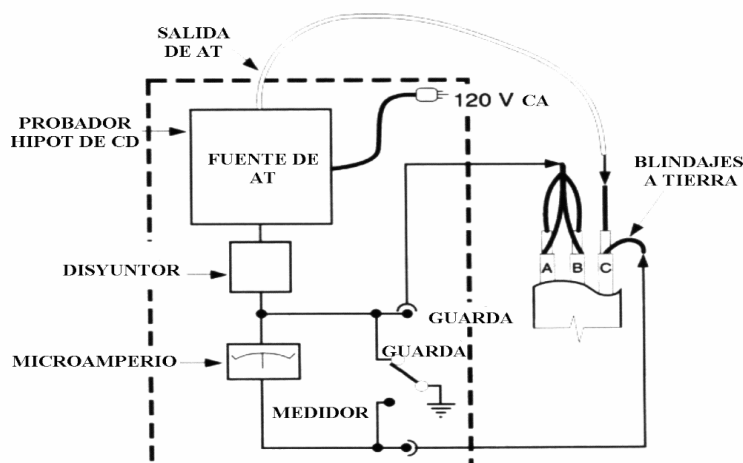
está húmedo, debe secarse antes que realice una prueba válida de la condición de aislación.

### **Prueba de corriente versus tensión**

Antes que comience una prueba de corriente versus tensión (Figura 15), el equipo que se está probando debe ser primeramente des-energizado, aislarse, descargarse y haber completado todos los procedimientos de seguridad. El equipo de prueba debería conectarse a un punto a tierra sólido, utilizando un conductor de cobre corto de gran sección, conectado a tierra. La tensión es aumentada a través de la aislación en etapas y el flujo de corriente es vigilado en cada paso.

La salida de AT (con corriente) del probador conecta al conductor del cable. La puesta a tierra del cable se conecta al terminal de puesta a tierra del probador.

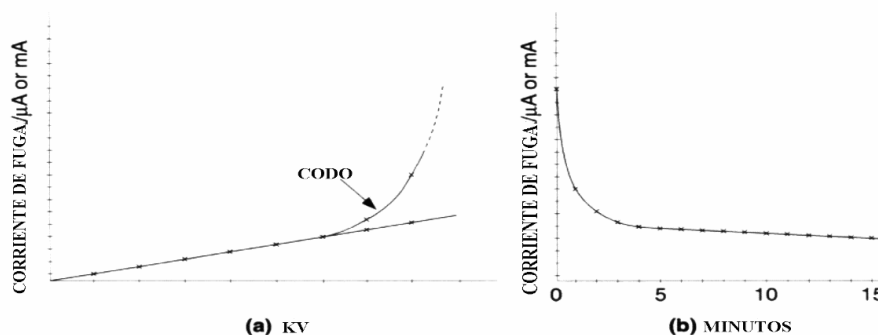
1. Gire hacia 0 voltios la perilla reguladora del voltaje en el probador hypot, y seleccione el rango de voltaje adecuado, generalmente 25 kV o 50 kV, para el voltímetro.
2. Ajuste el control de sensibilidad de la corriente para la corriente de prueba máxima anticipada. Si la corriente excede el nivel máximo anticipado (prefijada en  $\mu\text{A}$  o  $\text{mA}$ ), el disyuntor se dispara y se enciende una luz de advertencia.
3. Elija la posición apropiada en selector de rango del amperímetro. El probador hypot entonces es conectado a los 220 V de salida de energía. Un probador hypot típico tendrá luces indicadoras de energización, luces de disparo, disyuntores, voltímetro y amperímetro, conmutadores, selectores, etc. El conmutador selector que se muestra en la Figura 299 está “en guarda”. Este desvía las corrientes de fuga de la superficie del micro amperímetro, las que pueden ser significativas cuando se utilizan tensiones de prueba muy altas, e introducirán errores en los resultados de la prueba.
4. La tensión es aumentada lentamente en etapas, de modo de no exceder el ajuste de disparo de la corriente de carga inicial. Si el voltaje de prueba llegará a los 50 kV, serán razonables 10 etapas de 5 kV. Debido a la carga capacitiva, la corriente inicial será mayor que la corriente de estado estacionario en cada uno de los pasos. Después de esto, ésta debería disminuir. Si no es así, o si aumentase, detenga la prueba.



**Figura 15**  
**Probador hypot utilizado para probar un cable trifásico**

El tiempo que le toma a la corriente disminuir a un valor estacionario depende de la capacitancia del equipo que se encuentra bajo prueba. En cada etapa espere el tiempo suficiente hasta que la corriente se estabilice antes de tomar la lectura de la corriente. Esto debería ser como mínimo un minuto. Cada vez que aumente el voltaje, permita el mismo tiempo de duración para que la corriente se estabilice antes de tomar dicha lectura.

Registre los valores de corriente y voltaje para cada etapa, y trace un gráfico de voltaje versus corriente. Observe este gráfico con cuidado. Debería mostrar un constante y lento aumento de la corriente a medida que aumenta el voltaje, como en el gráfico (a) en la Figura 16. La corriente entonces solo obedeciendo la Ley de Ohm: es decir, aumenta con un aumento de voltaje bajo una resistencia fija. Pero si comienza a formarse en el gráfico un codo (knee), como se muestra en la Figura 16 (a), significa que van a venir problemas, y la aislación comenzará a hacerse inestable.



**Figura 16**  
**Gráficos de una prueba de corriente versus voltaje**

Cuando se alcanza el valor final de voltaje de prueba, déjela conectada por aproximadamente 15 minutos y tome la lectura de corriente durante intervalos de un minuto durante este periodo. Dibuje un gráfico de esta corriente versus tiempo. Esta debería tener una característica de caída similar a (b) en la Figura 16.

Los incrementos de voltaje deberían ser cortos para evitar la posibilidad de un efecto de avalancha de corriente desde una etapa a otra, como lo indica la curva de codo o knee. Al completar la prueba, regrese el voltaje lentamente a cero. El voltímetro en el instrumento debería indicar que el voltaje decae en el equipo bajo prueba a medida que la carga es drenada a través de los resistores de descarga interna.

Cuando el voltaje disminuye a cero, conecte a tierra el conductor que fue energizado utilizando una pértiga de aterrizamiento (hotstick) y guantes de goma. Manténgala a tierra al menos el mismo tiempo que tomó realizar la prueba. Esto es para evitar que reaparezca el voltaje por el efecto de absorción. No toque el conductor bajo prueba durante este tiempo sin utilizar los guantes de goma protectores.

### **Riesgos y precauciones en la prueba Hypo**

La prueba de hypot es peligrosa. El área de prueba (en el caso del cable, en ambos extremos) debe ser acordonada y señalizada con signos “Peligro Alta Tensión” cuando realice la prueba hypot. Estas tensiones son comúnmente 25 kV - 50 kV, las que son altamente peligrosas. Cuando se hacen las pruebas de AT en niveles altos de humedad, ejerza extrema precaución, ya que existe el riesgo de descarga disruptiva (flashovers) producida por la humedad.

Las personas que realizan la prueba hypot, deben estar entrenadas y calificadas para desarrollar dicha prueba, y deben acatar todas las prácticas de seguridad pertinentes.

Los métodos de prueba descritos en esta competencia son sólo propuestas generales, y no están diseñados para utilizarse en la prueba real. Siga en adición las normas MEL y las del fabricante

### **Registrando las pruebas de aislación**

Es importante, mantener los registros de las pruebas de hypot y del megger, ya que los registros permiten identificar las tendencias en el tiempo (Ej.: deterioro gradual).

Es bueno tener inicialmente una alta resistencia de aislación, pero es más importante mantener un control de los cambios en los valores de la resistencia de aislación producidas a medida que pasa el tiempo. Utilice una bitácora para supervisar los cambios de los valores, exhibiéndolo en forma similar al ejemplo mostrado en la Figura 17. Una tendencia descendente en las lecturas de la resistencia es una razón para preocuparse.

REGISTRO DE LA PRUEBA DE AISLAMIENTO DEL MEGOHMETRO

EQUIPO \_\_\_\_\_ Nº \_\_\_\_\_ REGIMEN \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_


**Figura 17**  
**Registro de la prueba de aislación**

Realice la prueba cada vez de la misma forma, utilizando el mismo equipo, a la misma temperatura, la misma humedad, y así sucesivamente. Si las condiciones de prueba cambian, las variables deben tomarse en cuenta cuando se interpreten las lecturas.

## TIPOS DE MEDICIÓN DE AISLAMIENTO

El conjunto de instalaciones y equipos eléctricos respeta unas características de aislamiento para permitir su funcionamiento con toda seguridad. Ya sea a nivel de los cables de conexión, de los dispositivos de seccionamiento y de protección o a nivel de los motores y generadores, el aislamiento de los conductores eléctricos se lleva a cabo mediante materiales que presentan una fuerte resistencia eléctrica para limitar al máximo la circulación de corrientes fuera de los conductores.

La calidad de estos aislamientos se ve alterada al cabo de los años por las exigencias a las que se someten los equipos. Esta alteración provoca una reducción de la resistividad eléctrica de los aislantes que a su vez da lugar a un aumento de las corrientes de fuga que pueden provocar incidentes cuya gravedad puede tener consecuencias serias tanto para la seguridad de personas y bienes como en los costes por paradas de producción en la industria.

Aparte de las **mediciones tomadas durante la puesta en funcionamiento** de elementos nuevos o renovados, el control periódico del aislamiento de las instalaciones y equipos eléctricos permite evitar dichos accidentes **mediante el mantenimiento preventivo**. Éste permite detectar el envejecimiento y la degradación prematura de las características de aislamiento antes de que alcancen un nivel suficiente para provocar los incidentes mencionados anteriormente.

Llegados a este punto, conviene diferenciar entre dos tipos de medición que se confunden a menudo: la prueba dieléctrica y la medición de la resistencia del aislamiento.

## PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

La prueba de rigidez dieléctrica, también conocida comúnmente como « prueba de perforación » mide la capacidad de un aislante de aguantar una sobretensión de duración media sin que se produzca una descarga disruptiva. En una situación real, esta sobretensión puede deberse a un rayo o a la inducción generada por un defecto en una línea de transporte de energía. El objetivo principal de esta prueba es garantizar que se respeten las normas de construcción relativas a las líneas de fuga y a las distancias de aislamiento.

La prueba se suele realizar aplicando tensión alterna, pero se puede realizar igualmente con tensión continua. El instrumento necesario para este tipo de medición es un **dielectrómetro**. El resultado obtenido es un valor de tensión normalmente expresado en kilovoltios (kV). La prueba de rigidez dieléctrica tiene un carácter más o menos destructivo en caso de defecto, según los niveles de las pruebas y la energía disponible en el aparato. Por esta razón se limita a los ensayos de tipo en equipos nuevos o renovados.

## RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Por su parte, la medición de la resistencia del aislamiento no es destructiva en las condiciones de prueba normales. Se lleva a cabo aplicando una tensión continua de magnitud inferior a la de la prueba dieléctrica y da un resultado expresado en kW, MW, GW incluso TW. Esta resistencia expresa la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores. Su naturaleza no destructiva (puesto que la energía es limitada) hace que esta prueba sea especialmente interesante para el seguimiento del envejecimiento de los aislantes durante el período de explotación de un equipo o de una instalación eléctrica.

Esta medición se lleva a cabo mediante un comprobador de aislamiento llamado también megaóhmetro.

## FALLA DE AISLAMIENTO Y SUS CAUSAS

La medición del aislamiento mediante un megaóhmetro es parte de una política de mantenimiento preventivo, y es necesario comprender las diferentes causas posibles de degradación del rendimiento del aislamiento, para poder llevar a cabo la implantación de medidas para corregir la degradación.

Estas causas de fallo del aislamiento se pueden clasificar en cinco grupos, siempre teniendo en cuenta que estas distintas causas se suman entre ellas en ausencia de medidas correctivas para dar lugar a los incidentes anteriormente citados

## LA FATIGA DE ORIGEN ELÉCTRICO:

Relacionada principalmente con fenómenos de sobretensión y caídas de tensión.

## LA FATIGA DE ORIGEN MECÁNICO:

Los ciclos de puesta en marcha y paro, sobre todo si son frecuentes, los defectos de equilibrado de máquinas rotativas y todos los golpes directos contra los cables y, de forma más general, contra las instalaciones.

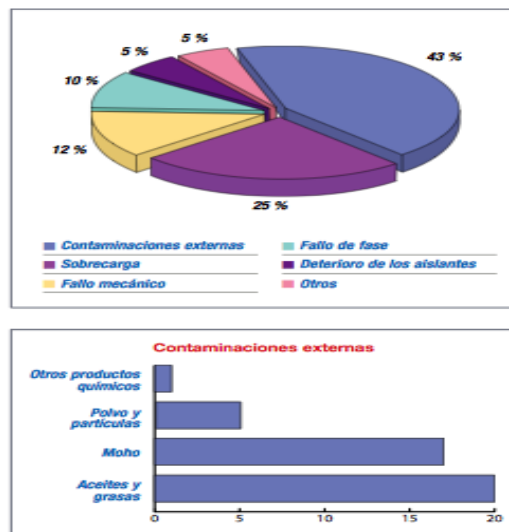
## LA FATIGA DE ORIGEN QUÍMICO:

La proximidad de productos químicos, de aceites, de vapores corrosivos y de modo general, el polvo, afectan el rendimiento del aislamiento de los materiales.

En combinación con la fatiga mecánica provocada por los ciclos de puesta en marcha y parada de los equipos, las exigencias de la dilatación o contracción afectan las características de los materiales aislantes. El funcionamiento a temperaturas extremas es también un factor de envejecimiento de los materiales.

## LA CONTAMINACIÓN AMBIENTE:

La aparición de moho y la acumulación de partículas en entornos húmedos y calurosos provocan también la degradación de las características de aislamiento de las instalaciones.



**Figura 18**

**Distribución de las causas más comunes de fallo en el caso de un motor eléctrico.**

Aparte de los fallos súbitos del aislamiento relacionados con acontecimientos excepcionales como por ejemplo inundaciones, el conjunto de estos factores de degradación de las características del aislamiento se combinará desde la puesta en

funcionamiento de la instalación, ampliándose a veces mutuamente, y debido a la falta de control creará a largo plazo situaciones que pueden resultar críticas tanto desde el punto de vista de la seguridad de las personas como desde el punto de vista del funcionamiento. El control periódico del aislamiento de una instalación o de un equipo permite así vigilar esta degradación e intervenir antes del fallo total.

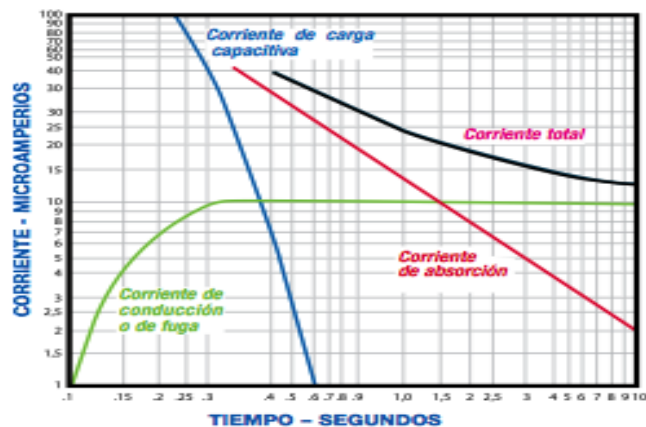
## **PRINCIPIO DE LA MEDICIÓN DE AISLAMIENTO Y FACTORES DE INFLUENCIA**

La medición de la resistencia se basa en la ley de Ohm. Al aplicar una tensión continua con un valor conocido e inferior al de la prueba dieléctrica y a continuación medir la corriente en circulación, es posible determinar fácilmente el valor de la resistencia. Por principio, la resistencia del aislamiento presenta un valor muy elevado pero no infinito, por lo tanto, mediante la medición de la débil corriente en circulación el megaóhmetro indica el valor de la resistencia del aislamiento con un resultado en kW, MW, GW, incluso en TW en algunos modelos. Esta resistencia muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corrientes de fuga.

Existe un cierto número de factores que afectan el valor de la resistencia del aislamiento, así pues el valor de la corriente que circula cuando se aplica una tensión constante al circuito durante la prueba puede variar. Estos factores, por ejemplo la temperatura o la humedad, pueden modificar considerablemente la medición. Analicemos primero partiendo de la hipótesis de que estos factores no influyan la medición, la naturaleza de las corrientes que circulan durante una medición del aislamiento.

**La corriente total que circula en el cuerpo del aislante es la suma de tres componentes:**

1. La corriente de carga capacitiva, correspondiente a la carga de la capacidad del aislamiento probado. Esta corriente es transitoria, relativamente elevada al principio, y disminuye exponencialmente hacia un valor cercano a cero una vez el circuito probado está cargado eléctricamente (de forma similar a la carga de una capacidad). Al cabo de unos segundos o de unas decenas de segundos, esta corriente resulta inapreciable comparada con la corriente que se mide.
2. La corriente de absorción corresponde a la aportación de energía necesaria para que las moléculas del aislante se reorienten bajo el efecto del campo eléctrico aplicado. Esta corriente decrece mucho más lentamente que la corriente de carga capacitiva y requiere más minutos para alcanzar un valor próximo a cero.
3. Corriente de fuga o corriente de conducción. Esta corriente indica la calidad del aislamiento, es estable en el tiempo.
4. *El gráfico siguiente ilustra la naturaleza de estas tres corrientes en función del tiempo (cabe señalar que la escala de tiempo es orientativa y puede variar según el aislamiento que se está probando).*



**Figura 19**

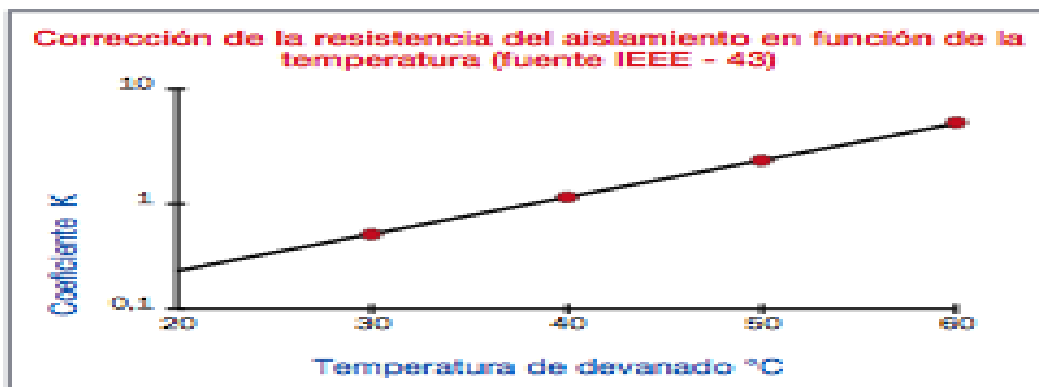
### **Naturaleza de los tipos de corriente en función del tiempo**

La corriente total que circula por el aislante que se está probando es variable en el tiempo, lo cual implica una gran variación resultante del valor de resistencia de aislamiento ya que el circuito está alimentado con tensión constante.

Antes de abordar detalladamente los diversos métodos de medida, es conveniente retomar los factores de influencia de la medida de resistencia de aislamiento.

### **Influencia de la temperatura**

La temperatura hace variar el valor de la resistencia de aislamiento según una ley casi exponencial. Dentro de un programa de mantenimiento preventivo, es conveniente realizar medidas en condiciones de temperatura similares o, en el caso de que no resultara posible, corregirlas para acercarlas a unas condiciones de temperatura de referencia. Como ejemplo y aproximación rápida, un incremento de 10 °C se traduce por una disminución a la mitad de la resistencia de aislamiento y a la inversa, una disminución de 10 °C de la temperatura duplica el valor de la resistencia de aislamiento. La tasa de humedad influye sobre el aislamiento en función del nivel de contaminación de las superficies aislantes. Siempre hay que procurar no realizar una medida de resistencia de aislamiento si la temperatura es inferior a la del punto de rocío.



**Figura 20**

**Corrección de la resistencia del aislamiento en función de la temperatura**

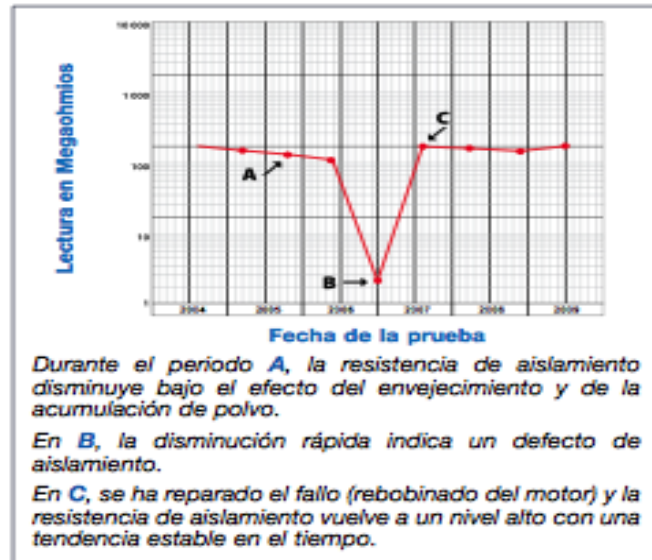
## **Métodos de medida e interpretación de los resultados**

### **Medida puntual o a corto plazo**

Este método es el más sencillo, consiste en aplicar la tensión del ensayo durante un corto plazo de tiempo (30 o 60 segundos) y en tomar nota del valor de la resistencia de aislamiento obtenido en este instante. Tal y como se ha mencionado anteriormente, esta medida directa de la resistencia de aislamiento se ve altamente perturbada por la temperatura y la humedad; por lo tanto es conveniente normalizar la medida a una temperatura estándar y leer el nivel de humedad para poder cotejar el resultado obtenido con las anteriores medidas. Con este método, se puede analizar la tendencia a lo largo del tiempo, lo cual es más representativo de la evolución de las características de aislamiento de la instalación o del equipo que se está probando.

El valor obtenido también se puede comparar con los umbrales mínimos a cumplir indicados en las normas relativas a las instalaciones o a los materiales eléctricos.

La interpretación de la evolución de las medidas periódicas permite, si las condiciones de medida se mantienen idénticas (misma tensión de ensayo, mismo tiempo de medición), establecer un diagnóstico correcto acerca del aislamiento de la instalación o del material. Además del valor absoluto, conviene analizar sobre todo la variación en función del tiempo. Así, una lectura que muestra un valor relativamente bajo de aislamiento, pero muy estable en el tiempo, es en principio menos alarmante que una gran disminución en el tiempo de una lectura de aislamiento (incluso si ésta se sitúa por encima de los mínimos recomendados). En general, cualquier variación brusca en descenso de la resistencia de aislamiento es un indicador de un problema a indagar.



**Figura 21**

### **Ejemplo de lectura de la resistencia de aislamiento de un motor eléctrico**

Métodos de medición basados en la influencia del tiempo de aplicación de la tensión de ensayo. Estos métodos consisten en leer valores sucesivos de resistencia de aislamiento en determinados momentos. Presentan la ventaja de ser poco influenciados por la temperatura, lo cual permite aplicarlos con facilidad sin necesidad de corregir los resultados, bajo la condición de que el equipo que se está probando no soporte variaciones significativas de temperatura durante el ensayo.

Se recomiendan en el mantenimiento preventivo de las máquinas rotativas y al control de sus aislantes.

En el caso de un aislante en buen estado, la corriente de fuga o corriente de conducción es débil y la medición está altamente influenciada por las corrientes de carga capacitiva y de absorción dieléctrica. La medición de la resistencia de aislamiento aumentará, por lo tanto, durante el tiempo de aplicación de la tensión de ensayo, ya que estas corrientes parásitas disminuyen. Depende de la naturaleza de los aislantes el tiempo a partir del cual la medición de un aislamiento será estable.

En el caso de un aislamiento incorrecto (deteriorado, sucio y húmedo), la corriente de fuga o corriente de conducción es muy fuerte, constante y sobrepasa las corrientes de carga capacitiva y de absorción dieléctrica; la medición de la resistencia de aislamiento alcanzará en este caso, muy rápidamente, un nivel constante y estable.

Se puede determinar la calidad del aislamiento mediante el examen de las variaciones del valor del aislamiento en función de la duración de aplicación de la tensión de ensayo. Este método permite sacar conclusiones incluso si no hay historial de las medidas de aislamiento. Se recomienda sin embargo, dentro de un programa de

mantenimiento preventivo, guardar las medidas periódicas. El análisis de las variaciones relativas, como en el caso de la medición a corto plazo, da informaciones correctas especialmente en los casos de grandes y bruscas variaciones en ausencia de algún acontecimiento externo identificado.

### **Índice de polarización (PI)**

En esta aplicación de las mediciones basadas sobre la influencia del tiempo de aplicación de la tensión de ensayo, se efectúan dos lecturas a 1 y a 10 minutos respectivamente. La ratio sin dimensión de la resistencia de aislamiento a 10 minutos sobre la de un 1 minuto se llama Índice de Polarización (PI) y permite definir la calidad del aislamiento.

### **La Recomendación IEEE 43-2000**

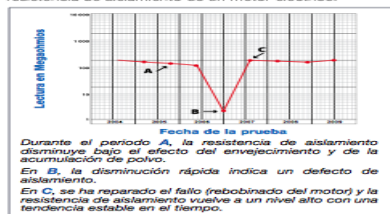
"Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery" define el valor mínimo del índice de polarización PI para máquinas rotativas ACyDCdeclasedetemperaturaB,FyHen2,0.De forma general, un índice PI superior a 4 es señal de un aislamiento excelente mientras que un índice inferior a 2 indica un problema potencial.

Cabe destacar que el método de medida mediante lectura del índice de polarización es apropiado para el control de los circuitos aislantes sólidos; por consiguiente, no se recomienda para equipos de tipo transformadores de aceite para los que daría resultados débiles incluso en situaciones de buenas condiciones de aislamiento.

### **Relación de absorción dieléctrica (DAR)**

Para instalaciones o equipos que contengan aislantes en los cuales la corriente de absorción disminuye rápidamente, la lectura de las resistencias de aislamiento a los 30 y a los 60 segundos puede ser suficiente para calificar el aislamiento. La DAR se define de la siguiente forma:

El gráfico siguiente da un ejemplo de lectura de la resistencia de aislamiento de un motor eléctrico.



#### Métodos de medición basados en la influencia del tiempo de aplicación de la tensión de ensayo

Estos métodos consisten en leer valores sucesivos de resistencia de aislamiento en determinados momentos. Presentan la ventaja de ser poco influenciados por la temperatura, lo cual permite aplicarlos con facilidad sin necesidad de corregir los resultados, bajo la condición de que el equipo que se está probando no soporte variaciones significativas de temperatura durante el ensayo.

Se recomiendan en el mantenimiento preventivo de las máquinas rotativas y al control de sus aislantes.

En el caso de un aislante en buen estado, la corriente de fuga o corriente de conducción es débil y la medición está altamente influenciada por las corrientes de carga capacitiva y de absorción dieléctrica. La medición de la resistencia de aislamiento aumentará, por lo tanto, durante el tiempo de aplicación de la tensión de ensayo, ya que estas corrientes parásitas disminuyen. Depende de la naturaleza de los aislantes el tiempo a partir del cual la medición de un aislamiento será estable.

En el caso de un aislamiento incorrecto (deteriorado, sucio y húmedo), la corriente de fuga o corriente de conducción es muy fuerte, constante y sobrepasa las corrientes de carga capacitiva y de absorción dieléctrica; la medición de la resistencia de aislamiento alcanzará en este caso, muy rápidamente, un nivel constante y estable.

Se puede determinar la calidad del aislamiento mediante el examen de las variaciones del valor del aislamiento en función de la duración de aplicación de la tensión de ensayo. Este método permite sacar conclusiones incluso si no hay historial de las medidas de aislamiento. Se recomienda sin embargo, dentro de un programa de mantenimiento preventivo, guardar las medidas periódicas. El análisis de las variaciones relativas, como en el caso de la medición a corto plazo, da informaciones correctas especialmente en los casos de grandes y bruscas variaciones en ausencia de algún acontecimiento externo identificado.

#### Índice de polarización (PI)

En esta aplicación de las mediciones basadas sobre la influencia del tiempo de aplicación de la tensión de ensayo, se efectúan dos lecturas a 1 y a 10 minutos respectivamente. La ratio sin dimensión de la resistencia de aislamiento a 10 minutos sobre la de un 1 minuto se llama Índice de Polarización (PI) y permite definir la calidad del aislamiento.

La recomendación IEEE 43-2000

"Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery" define el valor mínimo del índice de polarización PI para máquinas rotativas AC y DC de clase de temperatura B, F y H en 2.0. De forma general, un índice PI superior a 4 es señal de un aislamiento excelente mientras que un índice inferior a 2 indica un problema potencial.

Cabe destacar que el método de medida mediante lectura del índice de polarización es apropiado para el control de los circuitos aislantes sólidos; por consiguiente, no se recomienda para equipos de tipo transformadores de aceite para los que daría resultados débiles incluso en situaciones de buenas condiciones de aislamiento.

$$PI = \text{Resistencia a 10 minutos} / \text{Resistencia a 1 minuto}$$

#### Relación de absorción dieléctrica (DAR)

Para instalaciones o equipos que contengan aislantes en los cuales la corriente de absorción disminuye rápidamente, la lectura de las resistencias de aislamiento a los 30 y a los 60 segundos puede ser suficiente para calificar el aislamiento. La DAR se define de la siguiente forma:

$$DAR = \text{Resistencia a los 60 segundos} / \text{Resistencia a los 30 segundos}$$

La interpretación de los resultados es la siguiente:

Valor del DAR	Condición de aislamiento
< 1.25	Insuficiente
< 1.6	OK
> 1.6	Excelente

Figura 22

### Relación de absorción dieléctrica (DAR)

## Método basado en la influencia de la variación de tensión de ensayo (medición por escalones)

Las medidas basadas en el tiempo de aplicación de la tensión de prueba (PI, DAR...) suelen revelar la presencia de contaminantes (polvo, suciedad...) o de humedad en la superficie de los aislantes. No obstante, el envejecimiento de los aislantes o ciertos daños mecánicos pueden escapar a veces a este tipo de ensayo practicado con una tensión débil en relación a la tensión dieléctrica del aislante probado. Un aumento significativo de la tensión de ensayo aplicada puede, en cambio, ocasionar la ruptura de estos puntos débiles, lo que se traduce en una disminución sensible del valor de aislamiento medido.

Debe realizarse una prueba en escala, repartiendo en 5 escalones iguales la tensión máxima a aplicar y una duración idéntica, 1 minuto típicamente, quedando por debajo de la tensión clásica de ensayo dieléctrico ( $2 U_n + 1.000 \text{ V}$ ). Los resultados de este método son totalmente independientes del tipo de aislantes y de la temperatura, puesto que no se basa en el valor intrínseco de los aislamientos medidos sino en la disminución efectiva del valor leído al cabo de un tiempo idéntico, para dos tensiones de ensayo diferentes.

Una disminución del 25 % o más de la resistencia de aislamiento entre dos escalones consecutivos es una señal de deterioro del aislamiento habitualmente relacionado con la presencia de contaminantes.

## Método de prueba de descarga dieléctrica (DD)

La prueba de descarga dieléctrica DD también denominada prueba de corriente de reabsorción se efectúa midiendo la corriente durante la descarga del dieléctrico del equipo que se está probando.

Puesto que el conjunto de los tres componentes de la corriente (carga capacitiva, polarización y fugas) están presentes durante una prueba estándar de aislamiento, la determinación de la corriente de polarización o de absorción se ve potencialmente afectada por la presencia de la corriente de fuga.

Más que intentar medir la corriente de polarización durante la prueba de aislamiento, la prueba de descarga dieléctrica (DD) mide la corriente de despolarización y la corriente de descarga capacitiva al final de la prueba de aislamiento.

El principio de la medición es el siguiente:

Primero se carga el dispositivo a probar durante un tiempo suficiente hasta alcanzar un estado estable (se alcanza la carga capacitiva y la polarización y la única corriente que circula es la corriente de fuga). Se descarga entonces el dispositivo mediante una resistencia interna del megohmetro y se mide la corriente que circula. Esta corriente está compuesta por las corrientes de descarga capacitiva y de reabsorción dando la descarga dieléctrica total. Se mide esta corriente tras un tiempo estándar de 1 minuto. La corriente depende de la capacidad global y de la tensión final de la prueba. El valor DD se calcula según la fórmula:

$$DD = \text{Corriente a 1 minuto} / (\text{Tensión de ensayo} \times \text{Capacidad})$$

La prueba DD puede identificar los excesos de corriente de descarga que se producen cuando una de las capas de un aislante multicapas está dañada o contaminada, defecto que puede pasar desapercibido en las pruebas puntuales o pruebas de tipo PI y DAR. La corriente de descarga será superior para una tensión de ensayo y una capacidad dadas si una de las capas de aislamiento falla. El valor constante de tiempo de esta capa individual ya no estará en relación con la de las demás capas, creando un aumento del valor alto de la corriente respecto a un aislamiento correcto. Un aislamiento homogéneo presentará un valor DD igual a cero, un aislamiento multicapas correcto presentará un valor de DD hasta 2. La siguiente tabla indica la calidad del aislamiento en función del valor de DD obtenido.

<b>DD</b>	<b>Calidad</b>
> 7	Mala
4 a 7	Mediocre
2 a 4	A vigilar
< 2	Buena

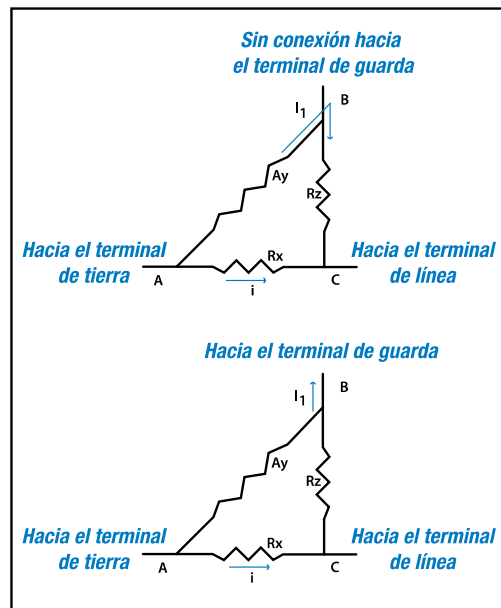
**Figura 23**

**Calidad del aislamiento en función del valor de DD obtenido.**

Atención: este método de medición depende de la temperatura, convendrá pues intentar realizar la prueba a una temperatura estándar o al menos apuntar ésta con el resultado de la prueba.

### **Mediciones de grandes Aislamientos: interés del circuito de guarda**

En el caso de mediciones de aislamientos elevados (superior a 1 GW), las mediciones pueden verse falseadas por la circulación de corrientes de fuga que avanzan en la superficie de los aislantes, a través de la humedad y de los contaminantes superficiales, cuya resistencia ya no es muy grande y por lo tanto insignificante frente a la resistencia del aislante que se desea caracterizar. Para eliminar esta corriente de fuga superficial, que degrada el valor medido de aislamiento, ciertos megaóhmetros disponen de un tercer terminal de conexión llamado de guarda. Este terminal de protección deriva el circuito de medida y reinyecta la corriente de superficie en uno de los puntos de prueba sin pasar por la medición (véase esquema inferior).

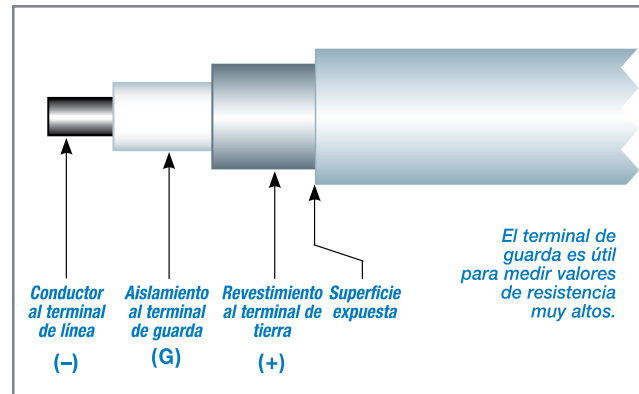


**Figura 24**

**Terminal de guarda**

El circuito superior, sin circuito de guarda, medirá al mismo tiempo la corriente de fuga  $i$  y la corriente de superficie indeseable  $I_1$  dando de este modo una falsa lectura de la resistencia del aislamiento.

En cuanto al segundo circuito, medirá únicamente la corriente de fuga  $i$ : la conexión al circuito de guarda permite evacuar la corriente de superficie  $I_1$  dando así el valor correcto de la resistencia del aislamiento.



**Figura 25**

#### Utilidad del terminal de guarda

El terminal de guarda debe estar conectado sobre una superficie susceptible de ser el foco de circulación de las corrientes de superficie, no característica de los aislantes como por ejemplo la superficie aislante de un cable, de un transformador... Es necesario un buen conocimiento de la circulación posible de la corriente de prueba a través del elemento probado para elegir correctamente la ubicación de la conexión al terminal de guarda.

#### Determinación de las tensiones de prueba

<b>Tensión de servicio cable/equipo</b>	<b>Tensión continua de prueba</b>
24 a 50 V	50 a 100 V <sub>DC</sub>
50 a 100 V	100 a 250 V <sub>DC</sub>
100 a 240 V	250 a 500 V <sub>DC</sub>
440 a 550 V	500 a 1.000 V <sub>DC</sub>
2.400 V	1.000 a 2.500 V <sub>DC</sub>
4.100 V	1.000 a 5.000 V <sub>DC</sub>
5.000 a 12.000 V	2.500 a 5.000 V <sub>DC</sub>
> 12.000 V	5.000 a 10.000 V <sub>DC</sub>

**Figura 26**

#### Tensiones de prueba recomendadas

La tabla anterior proporciona las tensiones de prueba recomendadas en función de las tensiones de servicio de las instalaciones y equipos (obtenida de la guía IEEE 43).

Por otro lado, una gran variedad de normas locales e internacionales define estos valores para los instrumentos eléctricos (IEC 60204; IEC 60439; IEC 60598...).

Por ejemplo en España, la norma REBT 2002 prescribe para las instalaciones eléctricas los valores de la tensión de ensayo así como la resistencia de aislamiento mínima (500 VDC y 0,5 MW para una tensión nominal de 50 a 500 VAC).

No obstante, se recomienda contactar con el fabricante del cable/equipo para conocer su propia recomendación en términos de tensión de ensayo aplicables.

## Seguridad de los ensayos

### Ensayo

- A. El ensayo debe efectuarse en una instalación **SIN TENSIÓN** y desconectada para asegurarse de que la tensión de ensayo no se aplicará a otros equipos que podrían estar conectados eléctricamente al circuito que se va a probar.
- B. Asegurarse de que el circuito está descargado. La descarga puede efectuarse realizando un cortocircuito y/o uniendo a la tierra los terminales del equipo durante un tiempo suficiente (véase tiempo de descarga).
- C. Se debe observar una protección especial cuando el dispositivo a probar se encuentra localizado en un entorno inflamable o explosivo, ya que podrían producirse chispas durante la descarga del aislante (antes y después de la prueba) pero también durante la prueba en caso de aislamiento defectuoso.
- D. Debido a la presencia de tensiones continuas que pueden ser altas, se recomienda reducir al máximo el acceso al personal y llevar equipamiento de protección individual especialmente guantes de protección eléctrica.
- E. Se deben utilizar cables de conexión apropiados para la prueba a realizar y asegurarse de su perfecto estado. En el mejor de los casos, cables inapropiados inducirán a errores de medición pero sobre todo pueden resultar peligrosos.

Al final del ensayo, el aislamiento ha acumulado una cantidad de energía que debe descargarse antes de cualquier otra intervención. Una regla sencilla de seguridad consiste en dejar que el equipo se descargue durante un tiempo CINCO veces igual al tiempo de carga (tiempo del último ensayo). Esta descarga se realiza creando un cortocircuito entre los polos y/o uniéndolos a la tierra. No todos los megaóhmetros disponen de circuitos internos de descarga que aseguran esta descarga de forma automática y con toda seguridad.

No hay una respuesta única a esta pregunta, sólo el fabricante del equipo o las normas

aplicables dan una respuesta apropiada. Para instalaciones BT, 1 MW se puede considerar como un valor mínimo.

Para instalaciones o equipos con tensiones de servicio superiores, una regla empírica da un valor mínimo de 1 MW por kV; la guía IEEE relativa a las máquinas rotativas recomienda una resistencia de aislamiento mínima de  $(n+1)$  MW, siendo  $n$  el número de kV de la tensión de servicio.

Los cables a utilizar para los megaóhmetros deben tener características adaptadas a la particularidad de las mediciones realizadas, sea desde el punto de vista de las tensiones aplicadas o desde el punto de vista de la calidad de los aislantes. El uso de cables inadaptados puede inducir errores de medición, e incluso resultar peligroso.

Además de las reglas de seguridad indicadas anteriormente, durante medidas de grandes aislamientos, es conveniente tomar precauciones especiales tales como:

- Uso del terminal de guarda (*véase párrafo sobre este tema*)
- Cables limpios y secos
- Cables alejados unos de otros y sin contacto con un objeto o el suelo para limitar la posibilidad de corrientes de fuga en el seno mismo de la cadena de medición.
- No se deben tocar o desplazar los cables durante la medición para no crear un efecto capacitivo parásito.
- Esperar el tiempo necesario para una estabilización en el caso de una medición puntual.

En efecto, la aplicación de una tensión eléctrica elevada polariza los materiales aislantes bajo el efecto del campo eléctrico. Hay que entender que, al final de esta prueba, los materiales aislantes necesitarán un tiempo (que puede ser considerable) para recobrar su estado inicial de antes del ensayo. Este tiempo es en ciertos casos muy superior al tiempo de descarga indicado anteriormente.

En el caso de que no fuera posible interrumpir la alimentación eléctrica de la instalación o del equipo a probar, ya no es posible considerar la utilización de un megaóhmetro. En ciertos casos, se puede realizar una prueba bajo tensión con una pinza de medición de corriente de fuga, aunque este método es mucho menos preciso.

## SELECCIÓN DE UN MEGAÓHMETRO

**Las preguntas necesarias para la elección de un megaóhmetro serán principalmente las siguientes:**

- ✓ ¿Cuál es la tensión máxima de prueba necesaria?
- ✓ ¿Cuáles son los métodos de medida que se aplicarán (puntuales, PI, DAR, DD, escalones de tensión)?
- ✓ ¿Cuál es el valor máximo de resistencia de aislamiento a leer?
- ✓ ¿Cuál será el medio de alimentación del megaóhmetro?
- ✓ ¿Memorización de las medidas

## ALGUNOS EJEMPLOS DE PRUEBA DE AISLAMIENTO

### ■ Medición de aislamiento en una instalación eléctrica

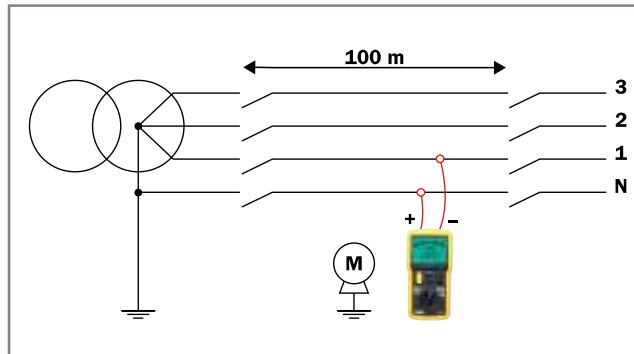


Figura 27

### ■ Medición de aislamiento sobre un transformador

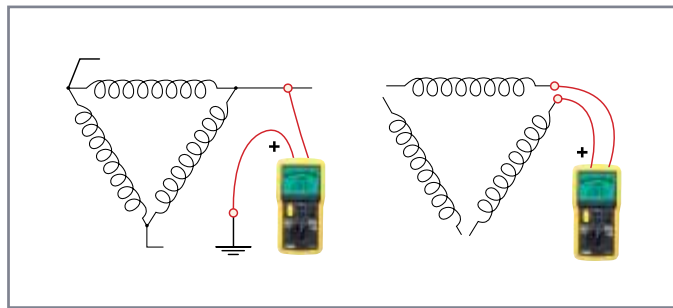


Figura 28

### ■ Medición de aislamiento en una máquina rotativa

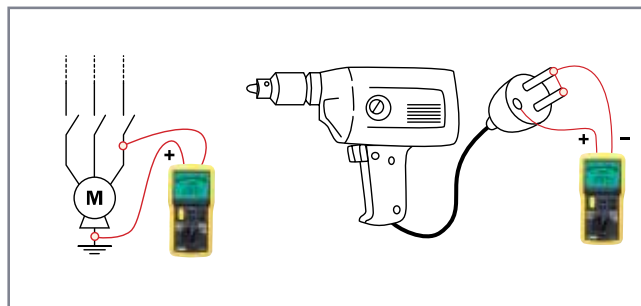
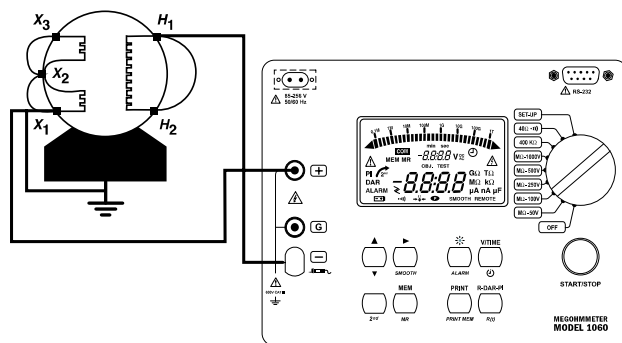
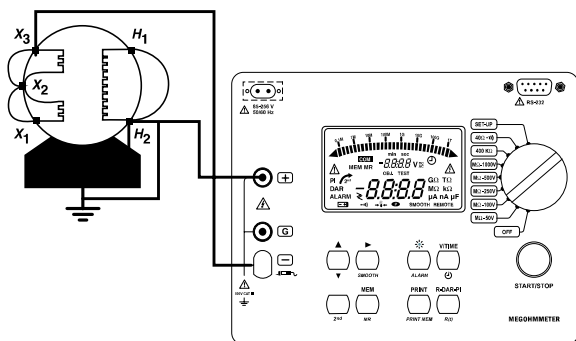


Figura 29

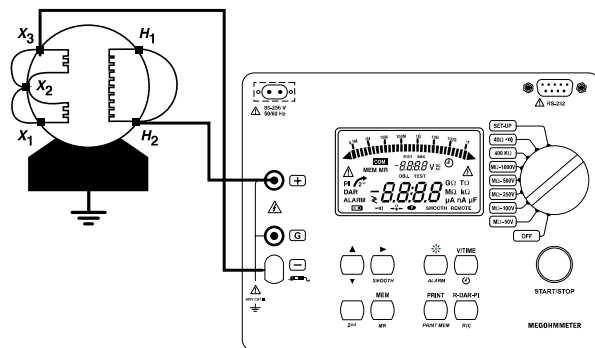
Ejemplos de prueba de aislamiento



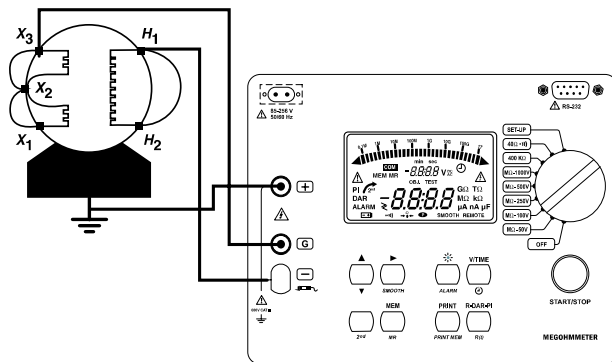
**a. Devanado alta  
tensión hacia  
devanado baja  
tensión y tierra**



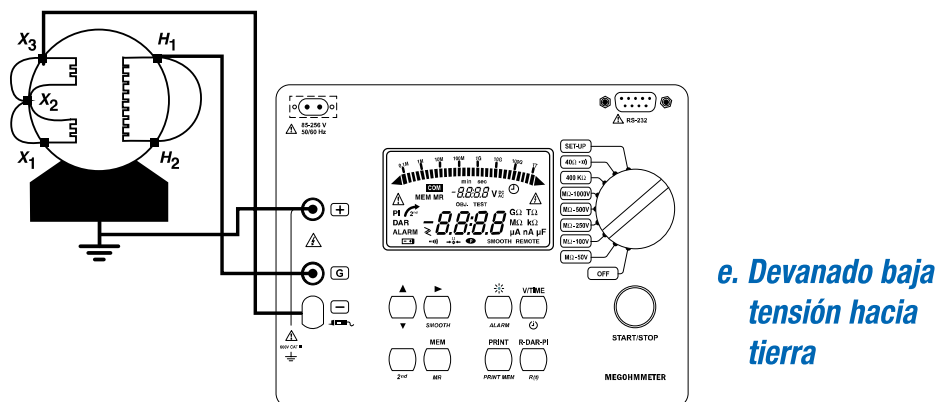
**b. Devanado baja  
tensión hacia  
devanado alta  
tensión y tierra**



**c. Devanado alta  
tensión hacia  
devanado baja  
tensión**



**d. Devanado alta  
tensión hacia  
tierra**



**Figura 30**  
**Mediciones de aislamiento sobre un transformador**

### **Análisis**

Como se mencionó anteriormente, las lecturas de resistencia del aislamiento deben considerarse como relativas. Pueden ser bastante distintas, bastante diferentes para un motor o una máquina probada durante tres días y aún eso no debe considerarse mal aislamiento. Lo que realmente importa es la tendencia de las lecturas en un periodo de tiempo, en el que aparecen menor resistencia y advertencia de problemas posteriores. Las pruebas periódicas son, por lo tanto, su mejor aproximación para el mantenimiento preventivo del equipo eléctrico, utilizando tarjetas de registro eléctrico que le permitan ir haciendo análisis por tendencia

Para lo cual se puede de manera amplia y general hacer una división en dos grandes grupos, hablando de motores eléctricos en el mundo real (No sobre mediciones de laboratorio):

- Motores y generadores de baja tensión. BT. Que operan en redes cuyo voltaje es menor o igual a 600V.
- Motores y generadores de alta tensión. AT. Que funcionan en redes cuyo voltaje es mayor a 600V.

Las normas ANSI- NEMA establecen criterios de evaluación, para lo cual ellos establecen que al valorar el aislamiento se hagan las mediciones así:

- RA de aislamiento entre bobinados de fase o entre fases.
- RTG aislamiento entre cada bobina de fase y tierra, sigla de designación en inglés.

En la práctica se da mayor importancia a la RTG, lo cual se puede resumir de manera

sencilla en la forma siguiente:

- En motores y generadores de BT. Un criterio aceptado es que la RTG mínima es de un (1) Mega-ohmio.
- En motores y generadores de AT. -. Su RTG debe ser al menos de un (1) Mega-ohmio por cada mil voltios (1 KV.) más un (1) Mega-Ohmio. Por ejemplo, en el caso de un motor que opera a 4.160 volts (4.16 KV), su R de aislamiento debe ser mayor o igual a cinco (5) Mega-ohmios. (Standard IEEE 43)

De otra parte, el instituto IEEE, en su Standard 43-2000 establece los límites de aislamiento a una temperatura de 40°C, por lo tanto las medidas de RA y RTG se deben corregir por temperatura.

En las buenas prácticas de la ingeniería, valorar aislamientos no se hace con una simple medida, por lo cual el IEEE indica que se debe calcular el POLARIZATION INDEX designado por la sigla PI, este parámetro INDICE DE POLARIZACION es el de mayor significado para evaluar aislamientos.

R.L1: lectura de resistencia de aislamiento a un (1) minuto.

R.L10: lectura de resistencia de aislamiento a diez (10) minutos.

$$PI = (R.L10) / (R.L1)$$

El instituto IEEE establece que un PI mayor o igual a 2.0 es aceptable, para aislamientos Clase “B”, “F” y “H”.

### 3.4 El micro-óhmetro



**Figura 31**  
**Micro-ohmetro**

Estos instrumentos excepcionalmente exactos y fáciles de manejar sirven para medir resistencias con una precisión de 0.1 microohm.

Pequeño y con un peso inferior a 15 kg.

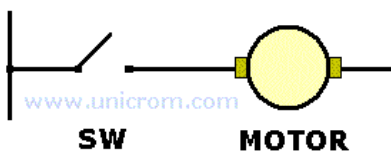
Prueba corrientes desde 10 A a 200 A CC

- Mejor resolución de  $0,1 \mu\frac{1}{2}$
- Memoria en el panel de los resultados y notas de hasta 300 pruebas
- Puerto RS232 para descargar resultados guardados o para enviarlos a una impresora en tiempo real
- Se entrega completo con conexiones de prueba de 5 m y software de descarga Ideal para su aplicación en campo

El DLRO200 mide la resistencia entre  $0,1 \mu W$  y  $2 W$ , a corrientes elevadas de hecho puede proporcionar corrientes de prueba desde 10 amperios hasta 200 amperios, sujetas a la resistencia de carga y voltaje de suministro. La capacidad de funcionar con corrientes elevadas y el diseño compacto hacen que el DLRO200 sea adecuado para probar contactos de disyuntores de circuito, contactos conmutados, uniones de barras colectoras u otras aplicaciones donde se necesita corriente alta. Almacena y descarga resultados directamente al PC o a impresora.

## 4. Tableros de distribución, fuerza y control

### 4.1 Diagramas de escalera



**Figura 32**

**Diagrama de escalera**

Los **diagramas de escalera** o ladder logic son programas muy utilizados para programar PLC o autómatas programables.

El diagrama de escalera fue uno de los primeros lenguajes utilizados para programar PLCs debido a su similitud con los diagramas de relés que los técnicos ya conocían.

Este lenguaje permite representar gráficamente el circuito de control de un proceso, con ayuda de símbolos de contactos normalmente cerrados (N.C.) y normalmente abiertos (N.A.), relés, temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, etc.

Cada uno de estos símbolos representa una variable lógica cuyo estado puede ser verdadero o falso.

En el **diagrama de escalera**, la fuente de energía se representa por dos "rieles" verticales, y las conexiones horizontales que unen a los dos rieles, representan los circuitos de control.

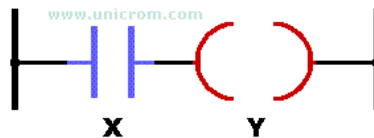
El riel o barra del lado izquierdo representa a un conductor con voltaje positivo y el riel o barra de lado derecho representa tierra o masa.

El programa se ejecuta de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Observar el diagrama anterior, donde se muestra el circuito para el accionamiento de un motor.

Este motor se activa cuando el interruptor SW se cierra y permite el paso de corriente del riel del lado izquierdo al riel del lado derecho a través de él. Acordarse que el riel izquierdo es el conductor con voltaje y el riel o barra derecha está a tierra.

En el siguiente diagrama se grafica la representación del anterior diagrama en lenguaje de escalera.



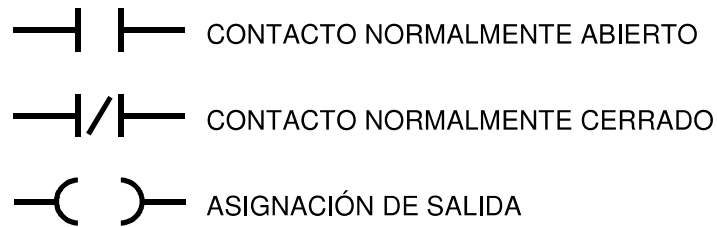
**Figura 33**

- "X" representa el interruptor normalmente abierto y se representa con esa letra porque es una entrada. "Y" representa al motor que se desea activar y se representa con esa letra porque es una salida
- Cuando se activa X, se completa el circuito entre el riel izquierdo y el riel derecho a través del motor (Y), que se pone en funcionamiento. Cuando se desactiva X, se abre el circuito entre el riel izquierdo y el riel derecho y el motor deja de funcionar.

## 4.2 Diagrama de contactos (Ladder)

Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés. Mediante símbolos representa contactos, bobinas, etc. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes.

Los símbolos básicos son:



**Figura 34**

Con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC.

Se debe recordar que mientras que en el diagrama eléctrico todas las acciones ocurren simultáneamente, en el programa se realizan en forma secuencial, siguiendo el orden en el que los "escalones" fueron escritos, y que a diferencia de los relés y contactos reales (cuyo número está determinado por la implementación física de estos elementos), en el PLC se puede considerar que existen infinitos contactos auxiliares para cada entrada, salida, relé auxiliar o interno, etc.

### 4.3 Símbolos NEMA y DIN

El viejo refrán que dice que una foto vale más que 10 mil palabras es muy apropiado en el mundo de la electricidad. La mayoría de la información que se hace llegar a los electricistas a través de diagramas es muy difícil de expresar verbalmente o por escrito. Por esta razón, usted debe aprender a reconocer e interpretar los diagramas comúnmente usados en los trabajos de electricidad.

En esta tarea de aprendizaje, usted conocerá los cuatro tipos principales de diagramas eléctricos: pictórico, de bloque, de conexión y esquemático.

#### Diagramas Pictóricos

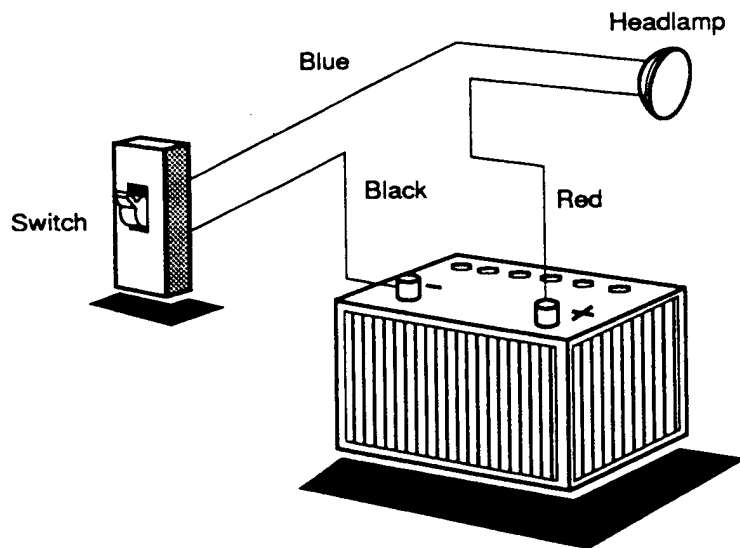
Los diagramas pictóricos son los más fáciles de comprender. Generalmente se utilizan para instruir a personas con una instrucción académica limitada sobre eléctrica, pero que desean comprender el funcionamiento de los circuitos eléctricos. Los manuales de instrucción de los equipos de música y video generalmente representan los circuitos eléctricos por medio de diagramas pictóricos.

Este tipo de diagrama es también utilizado por los fabricantes de kits hágalo-usted-mismo. El circuito en la Figura 35 es un diagrama pictórico.

Como los diagramas pictóricos generalmente se orientan hacia las personas sin formación eléctrica, por lo general estos diagramas exhiben estas características:

- Los componentes se dibujan como son en realidad.

- Los componentes en el diagrama están ubicados en relación a su posición real en el circuito.
- Los colores de los cables se indican por nombre
- Los diagramas tienen un efecto tridimensional

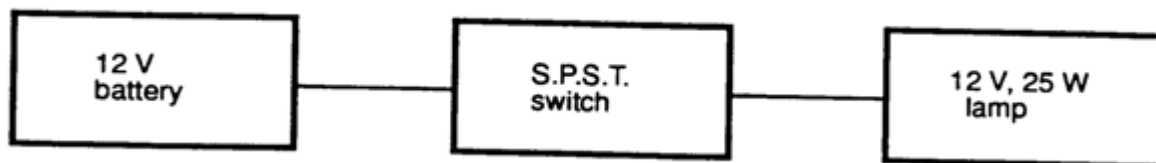


**Figura 35**

**Diagrama pictórico de un circuito simple.**

### **Diagramas De Bloque Y Diagramas De Línea.**

El diagrama de bloque es un tipo de tabla de flujo que indica la relación entre los componentes individuales de un circuito o grupos de componentes dentro del mismo entorno. Estos diagramas a menudo muestran una secuencia lógica de los eventos. Los componentes del circuito están dibujados en forma de bloque y la relación aproximada entre ellos se indica con líneas conectadas. La Figura abajo, muestra un diagrama de bloque.



**Figura 36**

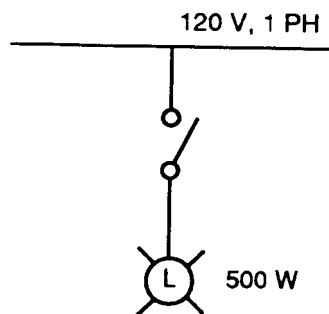
**Diagrama de bloque**

La diferencia entre un diagrama de bloque y un diagrama de línea es que el diagrama en línea representa los componentes con símbolos, mientras que el diagrama de bloque, sólo

utiliza bloques. Los diagramas de línea también se conocen como diagramas de línea simple o diagramas de elevación.

Los diagramas en línea generalmente se usan para ilustrar los principales equipos en un sistema de distribución eléctrica como se ve en la Figura 37. Generalmente son los primeros diagramas que se hacen de un proyecto grande y su intención es aportar una idea clara de los componentes en línea en el sistema o circuito.

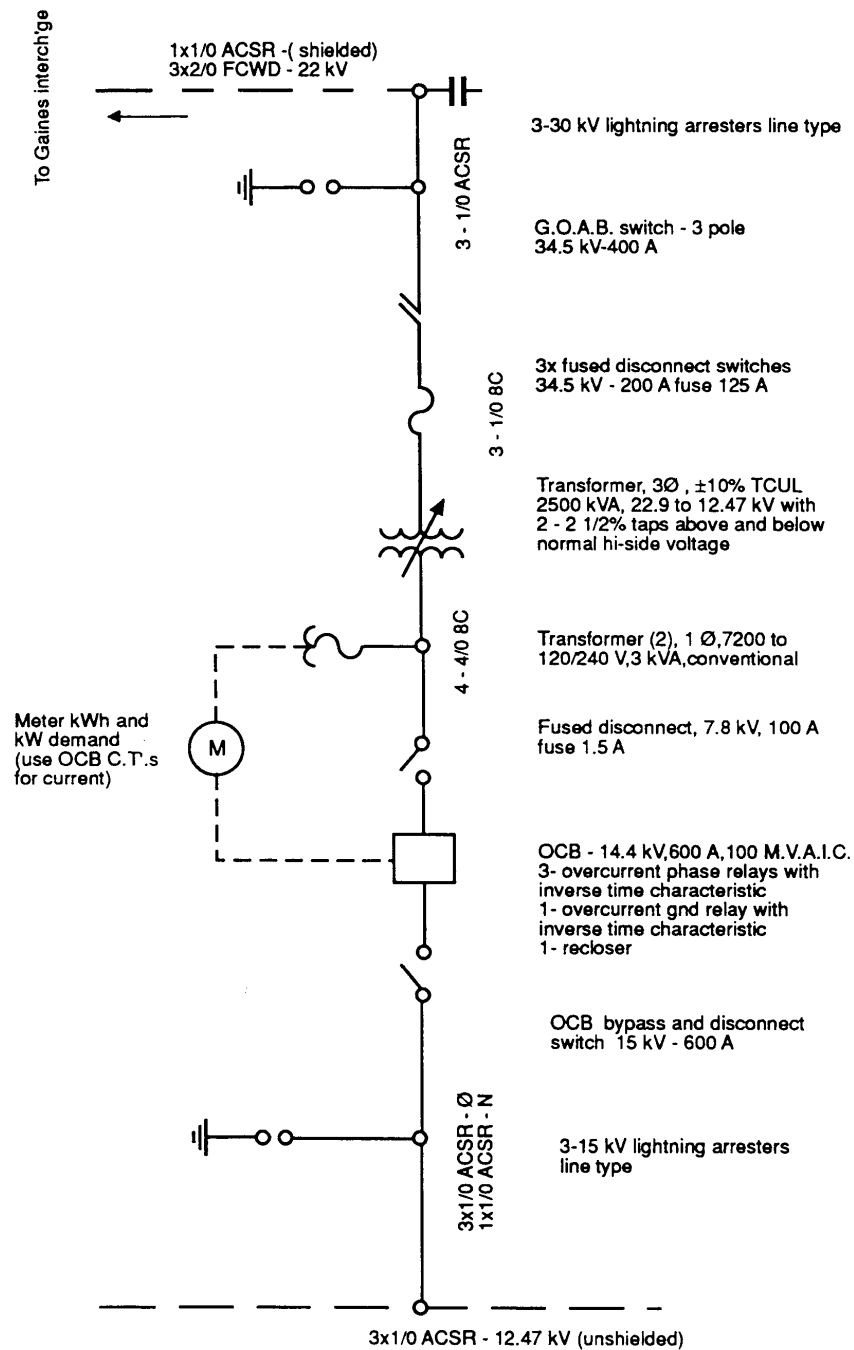
Los diagramas de línea comúnmente muestran los componentes de más alto voltaje en la parte superior del diagrama y descendiendo progresivamente en la hoja ubican los componentes de más bajo voltaje de un circuito de distribución o alimentación.



**Figura 37**  
**Diagrama unilineal**

Las características distintivas de este tipo de circuito son:

- Los componentes llevan etiquetas con sus nombres, tipo y a veces, su número de catálogo.
- No se utilizan para mostrar la posición real de los componentes en el circuito.
- Las líneas sencillas no muestra la trayectoria de la corriente de retorno en el circuito. Como ayuda a la comprensión del circuito, usted puede imaginarse las líneas como si fueran el conducto que contiene los conductores.



**Figura 38**  
**Diagrama De Línea De Una Sub Estación**

Línea tipo pararrayos de 3-30 Kv  
Switch G.O.A.B. tripolo de 34.5kV-400 A

Switch de desconexión por fusibles 34.5kV-200 A fusible 125A

Transformador, 3 $\theta$ ,  $\pm 10\%$  TCUL  
2500 Kva., 22.9 a 12.47 Kv con tomas de 2-2½% sobre y bajo el voltaje normal de la línea de puntería.

Transformador (2), 1  $\theta$  de 7200 a 120/240 V, 3kVA, convencional

Desconexión por fusible, 7,8kV, 100 A, fusible 1.5A

OCB -14.4 kV, 600A, 100 M.V.A.I.C. Tres relays de fase de sobreintensidad con característica de inversión de tiempo

1- Relay gnd de sobre intensidad con característica de tiempo invertido

1- Reconector

Bypass y switch de desconexión OCB 15 kV- 600A

Línea tipo pararrayo de 3-15 kv

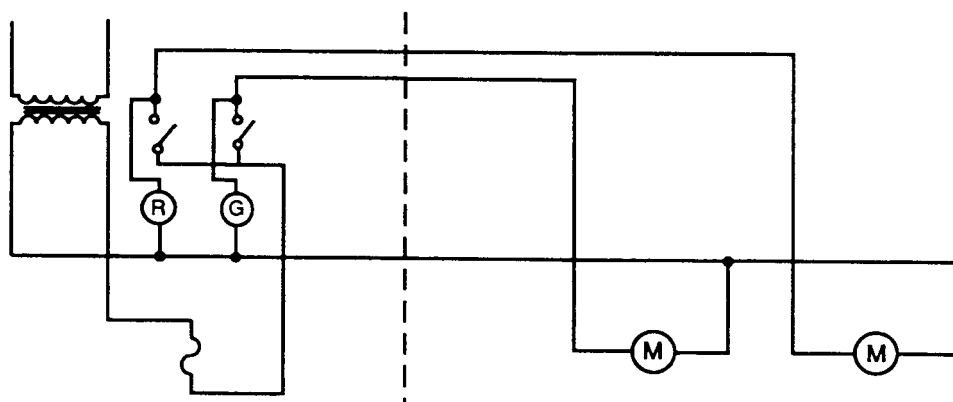
3 x1/0 ACSR - 12.47 kV (sin protección)

Medidor kWh y kW requieren de corriente OCB C.T.

### **Diagrama De Conexión**

El diagrama de conexión muestra, tan claro como sea posible, la ubicación actual de todos los componentes de un circuito. Es esencialmente un diagrama pictórico sin la representación tridimensional de los componentes. Generalmente los componentes se representan con símbolos.

Los diagramas de conexión son mapas de los circuitos. Son de mucha utilidad durante el cableado de un circuito y para rastrear los cables cuando se corrige algún problema. Los diagramas de conexión muestran exactamente cómo y dónde se conectarán los cables entre los dispositivos. La Figura abajo es un diagrama de conexión para poner en marcha y detener dos motores, completo con indicador de piloto lumínico.



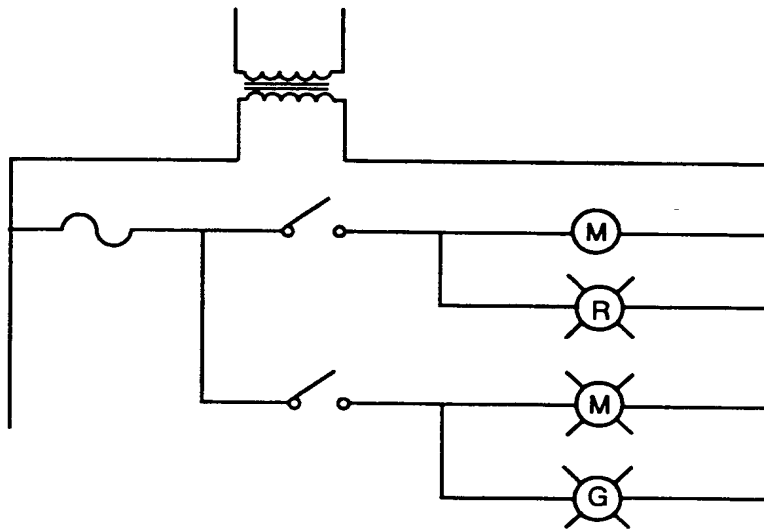
**Figura 39**  
**Diagrama de conexión**

Notar que todos los cables están tendidos horizontal o verticalmente para garantizar que la lectura del diagrama sea más clara y fácil. Cuando dos cables se cruzan, se utiliza un punto en el cruce para indicar que los cables están conectados. Si no se muestra el punto, los cables se cruzan pero no están conectados eléctricamente.

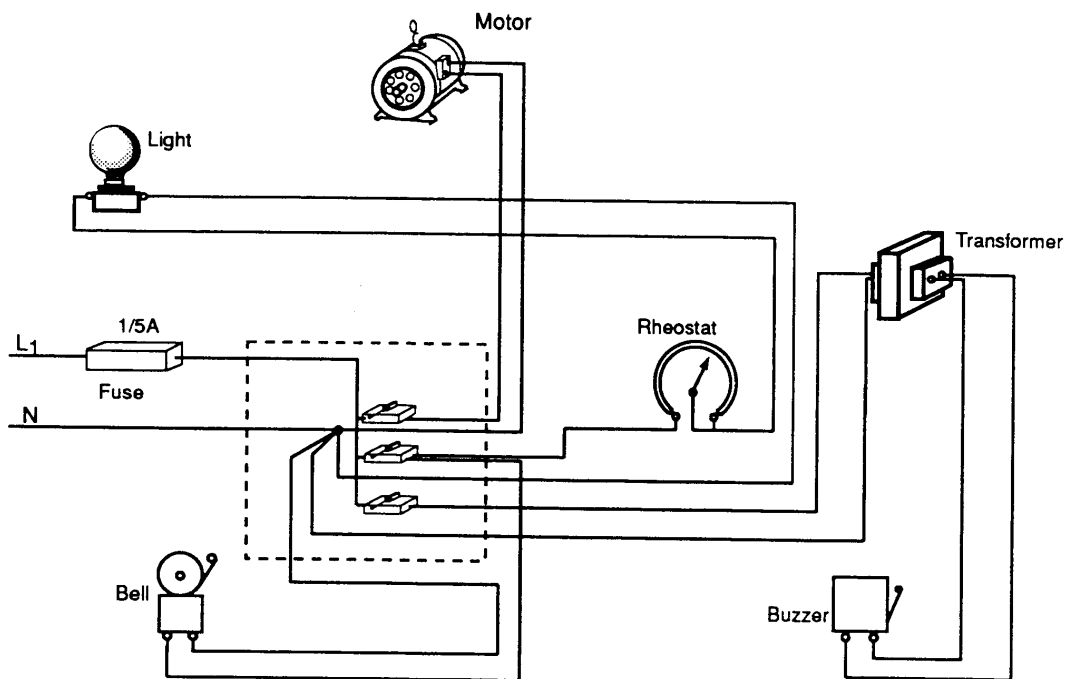
### **Diagramas Esquemáticos**

Los diagramas esquemáticos muestran la relación entre los componentes de un circuito, pero para simplificarlos, no indican la relación física entre los componentes. Los diagramas esquemáticos se usan con el propósito de conocer cómo trabaja el circuito y qué se supone que haga.

El diagrama esquemático de la Figura 40 muestra el mismo circuito de la Figura 41. Es mucho más fácil seguir el flujo de corriente que atraviesa el circuito de la Figura 40 que seguir el flujo de corriente que atraviesa el circuito de la Figura 41. El diagrama esquemático presta más atención a cómo trabaja el circuito que cómo aparece representado. El tipo de diagrama esquemático que se muestra en la Figura 40 se llama diagrama de escalera. En un diagrama de escalera, las dos líneas verticales a cada lado del diagrama representan la fuente de poder. Los cables conectados entre los conductores de la fuente forman los peldaños de la escalera.

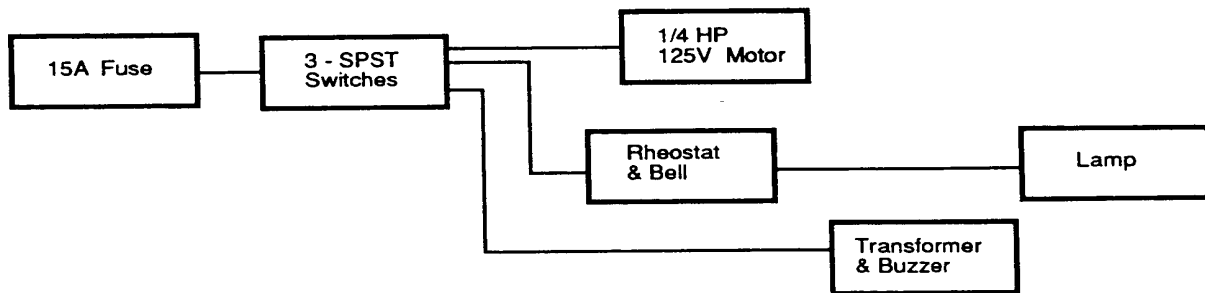


**Figura 40**  
**Diagrama esquemático**

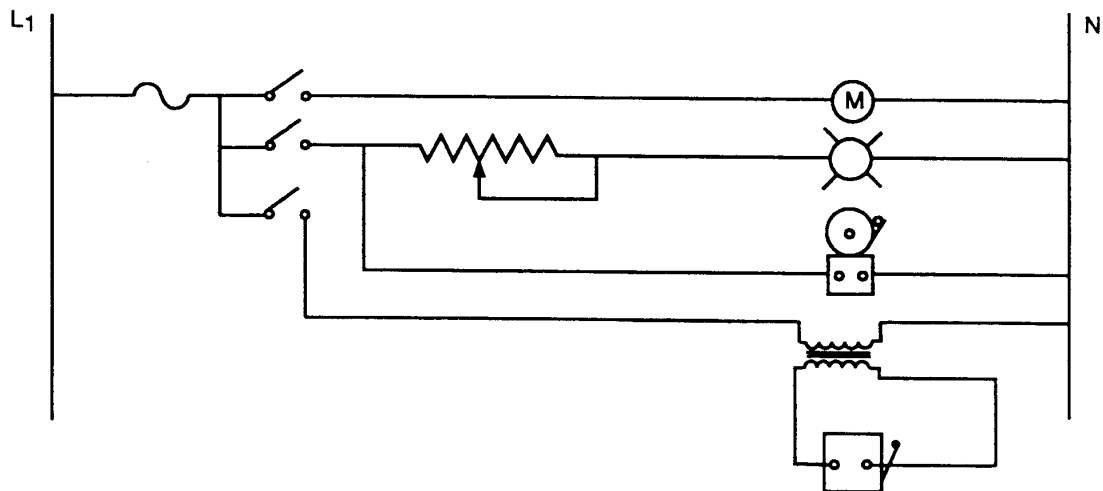


**Figura 41**  
**Diagrama h conexión pictórica**

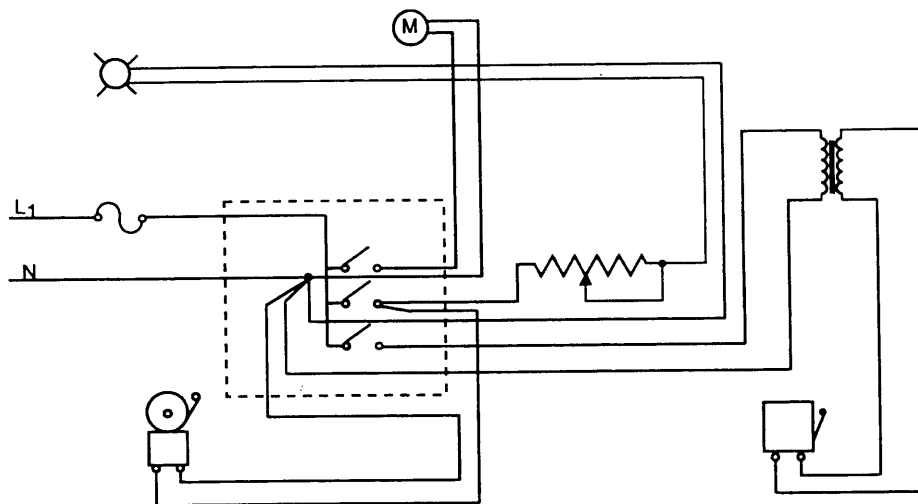
Las Figuras 14 a 17 ejemplifican el mismo circuito representado por diagramas pictóricos, de bloque, de conexión y esquemático.



**Figura 42**  
**Diagrama de bloque**



**Figura 43**  
**Diagrama esquemático**



**Figura 44**  
**Diagrama de conexión**

## **Tarea de Aprendizaje 2: Identificar símbolos eléctricos comunes**

Existen una variedad de símbolos que representan los elementos eléctricos que es imprescindible saber para interpretar los planos eléctricos, en esta tarea veremos los más conocidos

### **EL CONTACTOR**

Si es necesario proporcionar contactos adicionales para activar grandes cargas de corriente, entonces tiene que usar un contactor. Este es simplemente un partidor magnético para motor sin un relé de sobrecarga. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos. Físicamente el contactor



Figura 45

Contactos principales: 1-2, 3-4, 5-6. Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.

**Contactos auxiliares: 13-14 (NO)** Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales. El contactor de la Figura solo tiene uno que es normalmente abierto.

### Circuito electromagnético:

Consta de tres partes.-

- 1.- El núcleo, en forma de E. Parte fija.
- 2.- La bobina: **A1-A2**.
- 3.- La armadura. Parte móvil.

### Símbolos:

Norma DIN	Norma NEMA
	Contactor de tres polos
	Contactor de dos polos

Figura 46

### Elección del Contactor:

Cuando se va a elegir un Contactor hay que tener en cuenta, entre otros factores, lo siguiente: Tensión de alimentación de la bobina: Esta puede ser continua o alterna, siendo esta última la más habitual, y con tensiones de 12 V, 24 V o 220 V.

- Número de veces que el circuito electromagnético va a abrir y cerrar. Podemos necesitar un Contactor que cierre una o dos veces al día, o quizás otro que esté continuamente abriendo y cerrando sus contactos. Hay que tener en cuenta el arco eléctrico que se produce cada vez que esto ocurre y el consiguiente deterioro.
- Corriente que consume el motor de forma permanente (corriente de servicio).

Por lo tanto es conveniente el uso de catálogos de fabricantes en los que se indican las distintas características de los Contactores en función del modelo.

### Contactos auxiliares

Para poder disponer de más contactos auxiliares y según el modelo de contactor, se le puede acoplar a éste una cámara de contactos auxiliares o módulos independientes, normalmente abiertos (NO), o normalmente cerrados (NC).




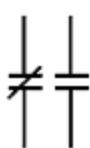
Norma DIN	Norma NEMA
 NA NC NA NC	

Figura 47

A continuación podemos observar un Contactor con sus *contactos auxiliares* ya montados:



**Figura 48**

### **Marcado de bornes:**

**Bobina:** se marca con **A1** y **A2**.

**Contactos auxiliares:** Como ya hemos nombrado, existen contactos normalmente abiertos (NO) o (NA) y normalmente cerrados (NC).

**Contactos NO.-** Se les asignarán números de 2 cifras, la primera cifra indica el número de orden y la segunda deberá ser **3** y **4**. Ejemplos: **13-14 23-24, 33-34**.

**Contactos NC.-** Se les asignarán números de 2 cifras, la primera cifra indica el número de orden y la segunda deberá ser **1** y **2**. Ejemplos: **11-12 21-22, 31-32**.

**Contactos principales:** Se marcan con los siguientes números o letras: **1-2, 3-4, 5-6**, o **L1-T1, L2-T2, L3-T3**.

**El Contactor** se denomina con las letras **KM** seguidas de un número.

**Relé Térmico:** Los bornes principales se marcarán como los contactos principales del contactor, **1-2, 3-4, 5-6**, o **L1-T1, L2-T2, L3-T3**. Los contactos auxiliares serán, **95-96** contacto cerrado y **97-98** contacto abierto.

## EL RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO

### Aspecto físico: Partes de que está compuesto:

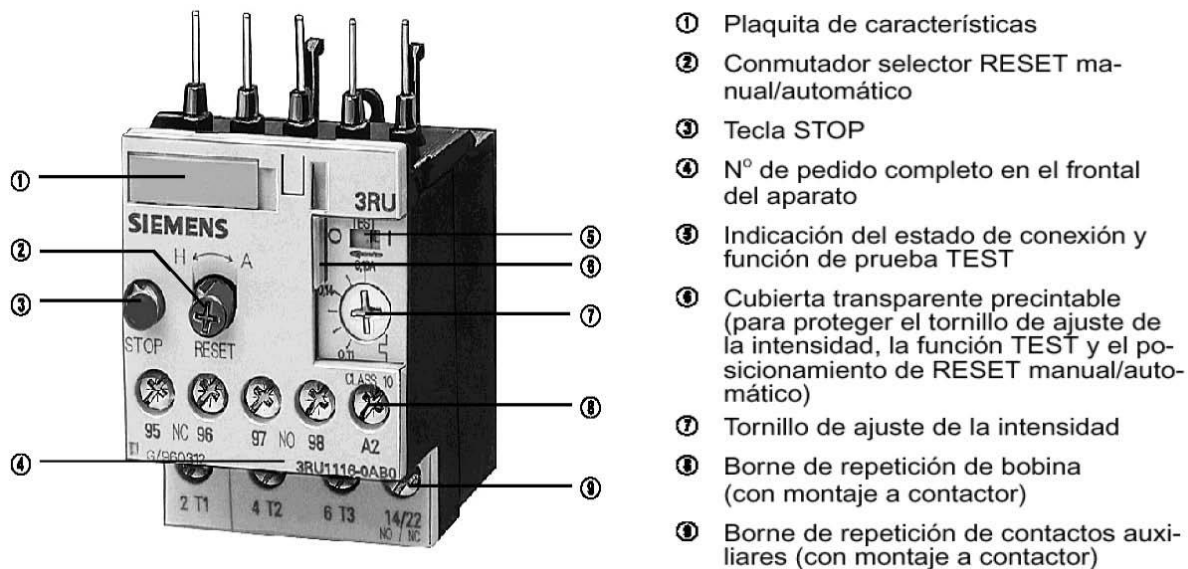


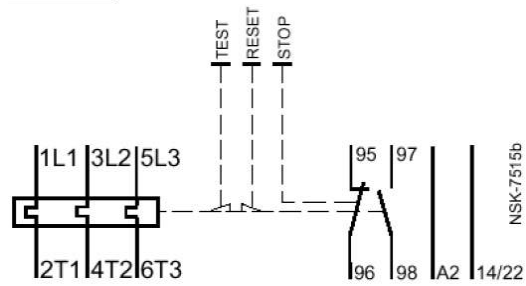
Figura 49

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección del motor. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo corto, a la permitida por este, evitando que el bobinado se queme. Esto ocurre gracias a que consta de tres láminas bimetalicas con sus correspondientes bobinas calefactoras que cuando son recorridas por una determinada intensidad, provocan el calentamiento del bimetálico y la apertura del relé. La velocidad de corte no es tan rápida como en el interruptor magnetotérmico.

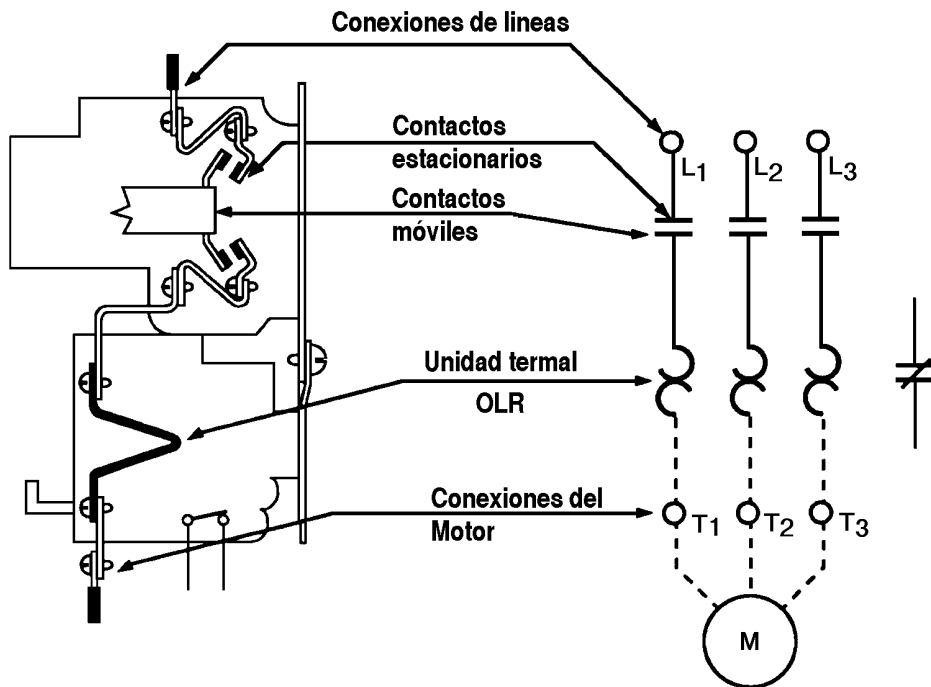
Se debe regular (tornillo 7), a la Intensidad Nominal del motor ( $I_n$ ), para el arranque directo. Esta intensidad deberá venir indicada en la placa de características del motor.

## Norma DIN

*Símbolo:*



## Norma NEMA



**Figura 50**

### Elección del Relé Térmico:

Para la elección de este mecanismo hay que tener en cuenta el *tiempo máximo* que puede soportar una sobreintensidad no admisible, y asegurarnos de que la intensidad del receptor esté comprendida dentro del margen de *regulación de la intensidad* del relé.

### EL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO MAGNETOTÉRMICO.

#### Aspecto físico:



Figura 51

Su misión es la de proteger a la instalación y al motor, abriendo el circuito en los siguientes casos:

- -*Cortocircuito*: En cualquier punto de la instalación.
- -*Sobrecarga*: Cuando la intensidad consumida en un instante, supera la intensidad a la que está calibrada el magnetotérmico.

#### Símbolo:

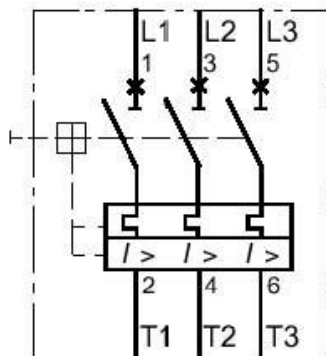


Figura 52

## Elección del interruptor automático magnetotérmico:

Se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Hay que seleccionar el tipo de *curva de disparo*. Ver tabla adjunta.
2. Elegir el *calibre* o intensidad nominal, cuyo valor será inferior o igual a la que consume el receptor de forma permanente.

<b>Curva de disparo</b>	<b>Corriente de magnético</b>	<b>Aplicaciones</b>
B	5	Protección generadores, de personas y grandes longitudes de cable.
C	10	Protección general.
D	20	Protecciones de receptores con elevadas corrientes de arranque.
Z	3,6	Protección de circuitos electrónicos.

**Ejemplo:** Elegir el interruptor automático magnetotérmico necesario para proteger un motor trifásico, que consume 10 A y en su arranque se produce una sobreintensidad admisible de 12 veces esa corriente.

- Se elige la curva de disparo **tipo D** por ser la corriente de magnético ( $20 \times 10 = \mathbf{200\ A}$ ) superior a la sobreintensidad admisible ( $12 \times 10 = \mathbf{120\ A}$ ), y no desconectaría el magnetotérmico.
- El **calibre** a elegir es el de **10 A**, por ser igual a la corriente del motor.

## ELEMENTOS DE ACCIONAMIENTO

### PULSADORES.-

#### Aspecto físico:

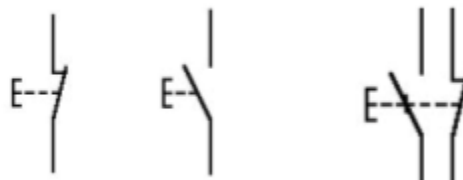


Figura 53

Los pulsadores son elementos de accionamiento que sirven para cerrar o abrir un circuito permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos. Existen tres tipos:

- **Pulsador de paro.** Símbolo:
- **Pulsador de marcha.** Símbolo:
- **Pulsador de doble cámara.** Símbolo:

#### Norma DIN



#### Norma Nema



Figura 54

## Despiece de una caja de pulsadores:

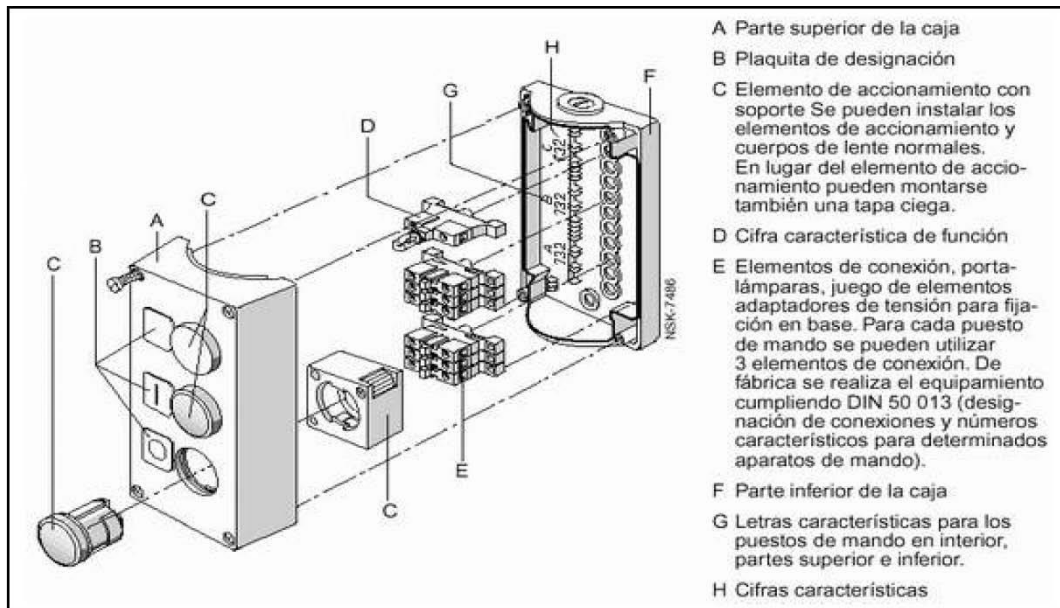


Figura 55

## INTERRUPTORES DE POSICIÓN O FINALES DE CARRERA.

### Aspecto físico:

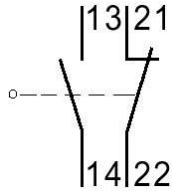


Figura 56

Este elemento es un interruptor de posición que se utiliza en apertura automática de puertas, como elemento de seguridad, para invertir el sentido de giro de un motor o para pararlo.

**Símbolo:**

**Norma DIN**

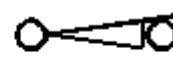


**Norma NEMA**

**Normalmente Abierto**



**Normalmente Cerrado**



**Se Mantiene Abierto**



**Se Mantiene Cerrado**

**Figura 57**

Como se puede observar, el final de carrera está compuesto por un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto. Cuando se presiona sobre el vástago, cambian los contactos de posición, cerrándose el abierto y viceversa.

**PRESOSTATOS**

**Aspecto físico:**



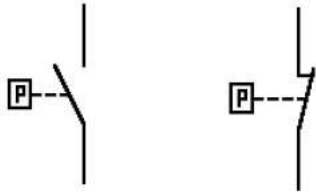
**Figura 58**

**DETECTORES.-**

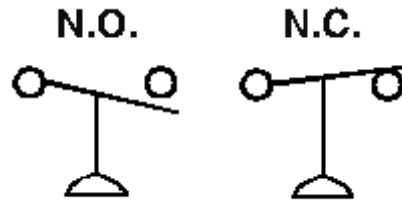
El presostato es un mecanismo que abre o cierra unos contactos que posee, en función de la presión que detecta. Esta presión puede ser provocada por aire, aceite o agua, dependiendo del tipo de presostato. Se suelen usar en grupos de presión de agua, poniendo en marcha un motor-bomba cuando la presión de la red no es suficiente.

**Símbolo:**

**Norma DIN**



**Norma NEMA**



**Figura 59**

Los contactos pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, dependiendo del tipo de presostato.

**DETECTORES INDUCTIVOS.-**

***Aspecto físico:***

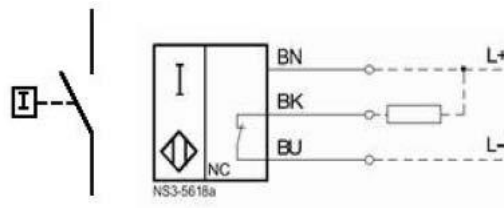


**Figura 60**



**Figura 61**

**Símbolo: Esquema de conexiones:**



**Figura 62**

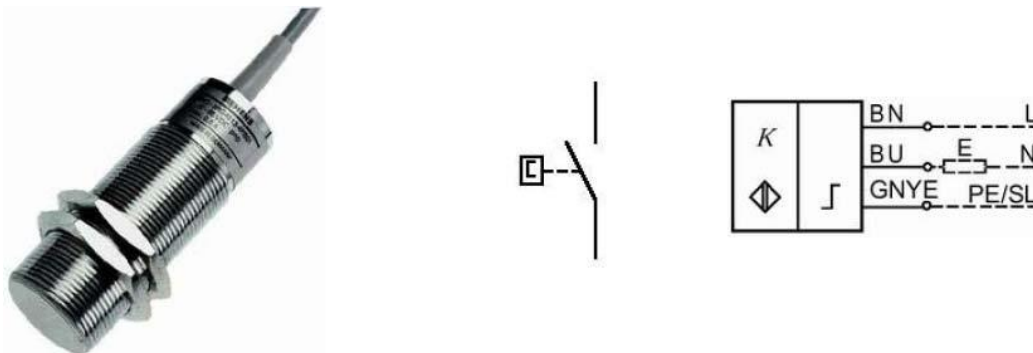
El **Detector Inductivo** es un fin de carrera que trabaja exento de roces y sin contactos, no está expuesto a desgastes mecánicos y en general es resistente a los efectos del clima. Su empleo es especialmente indicado allí donde se requieren elevadas exigencias, precisión en el punto de conexión, duración, frecuencia de maniobras, y velocidad de accionamiento.

**Funcionamiento:**

El DI es excitado por un campo alterno de alta frecuencia, el cual se origina en la "superficie activa" del DI, la magnitud de este campo alterno determina el "alcance" del aparato. Cuando se aproxima un **material buen conductor eléctrico o magnético**, el campo se amortigua. Ambos estados (campo amortiguado o no amortiguado) son valorados por el DI y conducen a un cambio de la señal en la salida.

**DETECTORES CAPACITIVOS.-**

**Aspecto físico:      Símbolo: Esquema de conexiones:**



**Figura 63**

Estos **detectores** de proximidad **capacitivos** son interruptores de límite, que trabajan sin roces ni contactos. **Pueden detectar materiales de conducción o no conducción eléctrica**, que se encuentran en estado sólido, líquido o pulvurento, entre otros: vidrio, cerámica, plástico, madera, aceite, agua, cartón y papel.

El DETECTOR se conecta cuando él y el material se encuentran uno enfrente del otro a una determinada distancia.

### **APLICACIONES:**

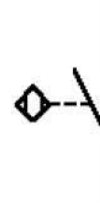
- Señalización del nivel de llenado en recipientes de material plástico o vidrio
- Control del nivel de llenado con embalajes transparentes
- Aviso de roturas de hilo en bobinas
- Aviso de rotura de cinta transportadora
- Cuenta de botellas
- Regulación del bobinado y de los esfuerzos de tracción de cintas
- Cuenta de todo tipo de objetos La superficie activa de un sensor está formada por dos electrodos metálicos dispuestos concéntricamente, éstos se pueden considerar como los electrodos de un condensador. Al acercarse un objeto a la superficie activa del sensor, se origina un campo eléctrico delante de la superficie del electrodo. Esto se traduce con una elevación de la capacidad y el oscilador comienza a oscilar.

## DETECTORES FOTOELÉCTRICOS.-

**Aspecto físico:**



**Símbolo:**



**Figura 64**

**Los DF reaccionan a cambios de la cantidad de luz recibida.**

El objeto a detectar interrumpe o refleja el haz luminoso emitido por el diodo emisor. Según el tipo de aparato, se evalúa o bien la reflexión del haz luminoso o la interrupción del mismo. La luz del emisor da en un objeto. Ésta se refleja de forma difusa y una parte de la luz alcanza la parte receptora del aparato. Si la intensidad de luz es suficiente, se conecta la salida. La distancia de reflexión depende del tamaño y del color del objeto así como del acabado de la superficie. La distancia de reflexión se puede modificar entre amplios límites mediante un potenciómetro incorporado.

## Barreras fotoeléctricas por reflexión

El haz de luz impulsado por el diodo emisor es captado por una lente y enviado, a través de un filtro de polarización, a un reflector (principio del espejo triple). Una parte de la luz reflejada alcanza otro filtro de polarización del reflector. Los filtros se eligen y disponen de forma que solamente el haz luminoso enviado por el reflector alcance el receptor, y no los haces de luz de otros objetos que se encuentran dentro del campo de irradiación. Un objeto que interrumpa el haz de luz enviado por el emisor a través del reflector hacia el receptor origina una conexión de la salida.

### *Reflector utilizado con la fotocélula:*

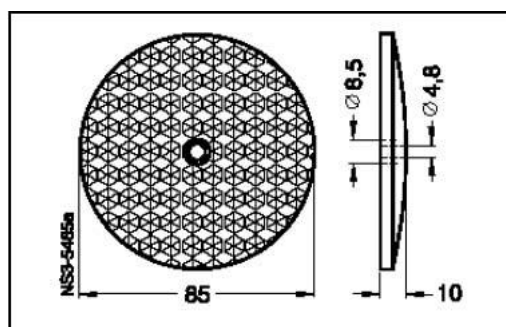


Figura 65

## ACCESORIOS DE MONTAJE.-

Para realizar el montaje completo de un cuadro eléctrico, para una instalación de automatismo, es necesario utilizar una serie de accesorios. A continuación podemos observar algunos de ellos que son muy utilizados:

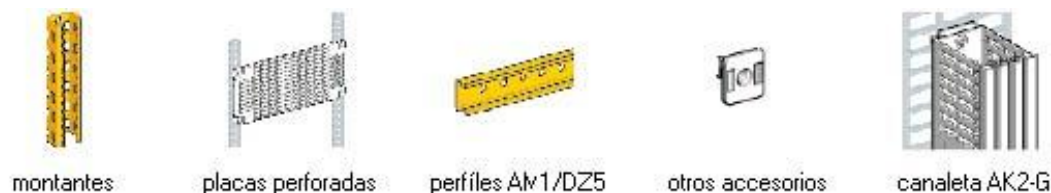


Figura 66

Detalle de montaje en el que podemos ver contactores, interruptores automático.

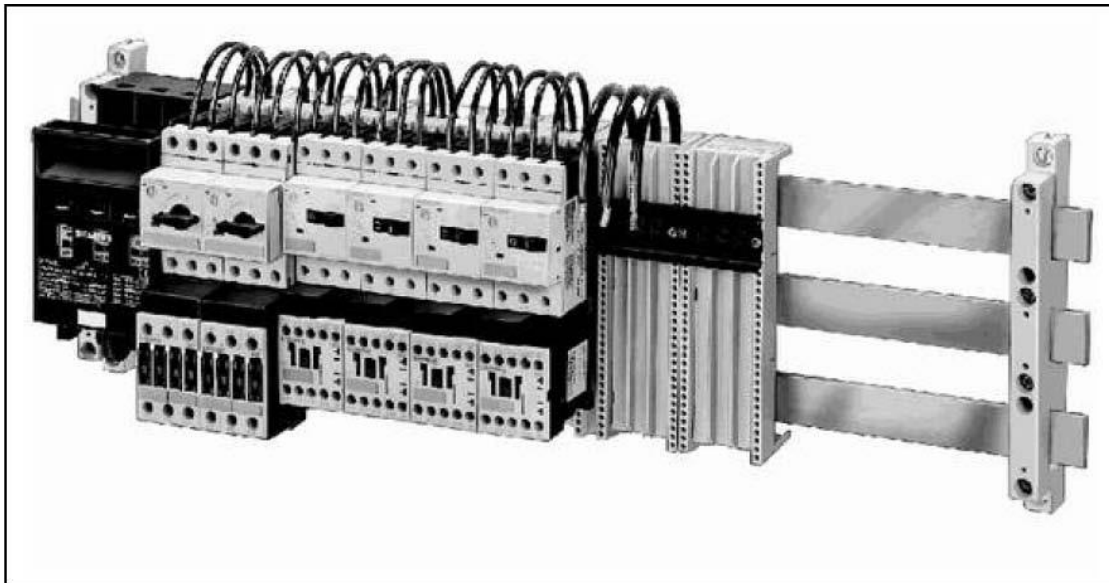


Figura 67

Otro tipo de accesorios bastante utilizados son las **BORNAS DE CONEXIÓN**. Aspecto

Físico:

Partes de que está compuesta:

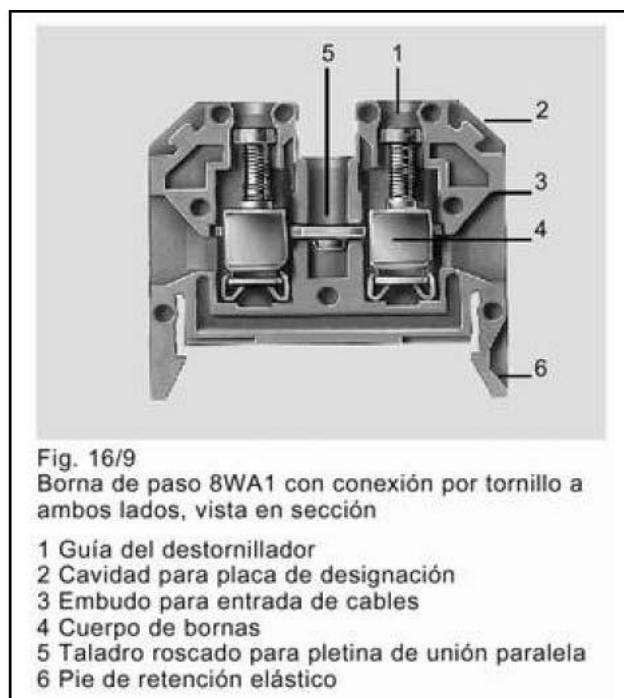
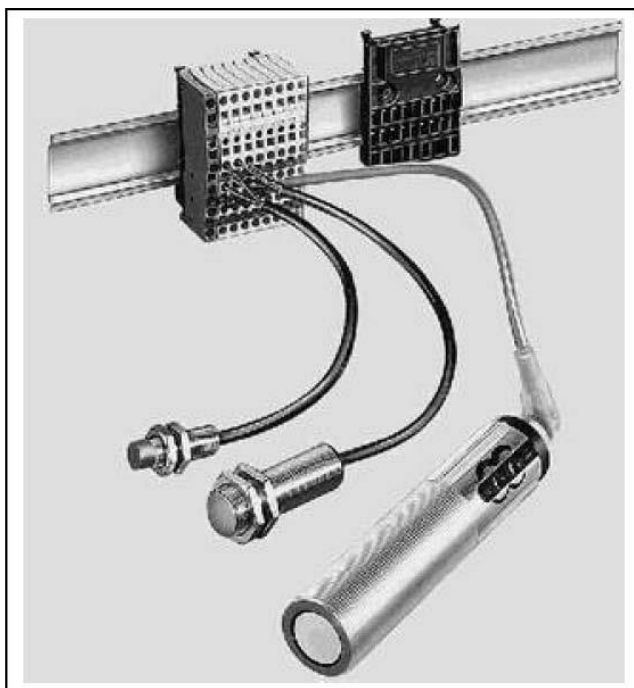
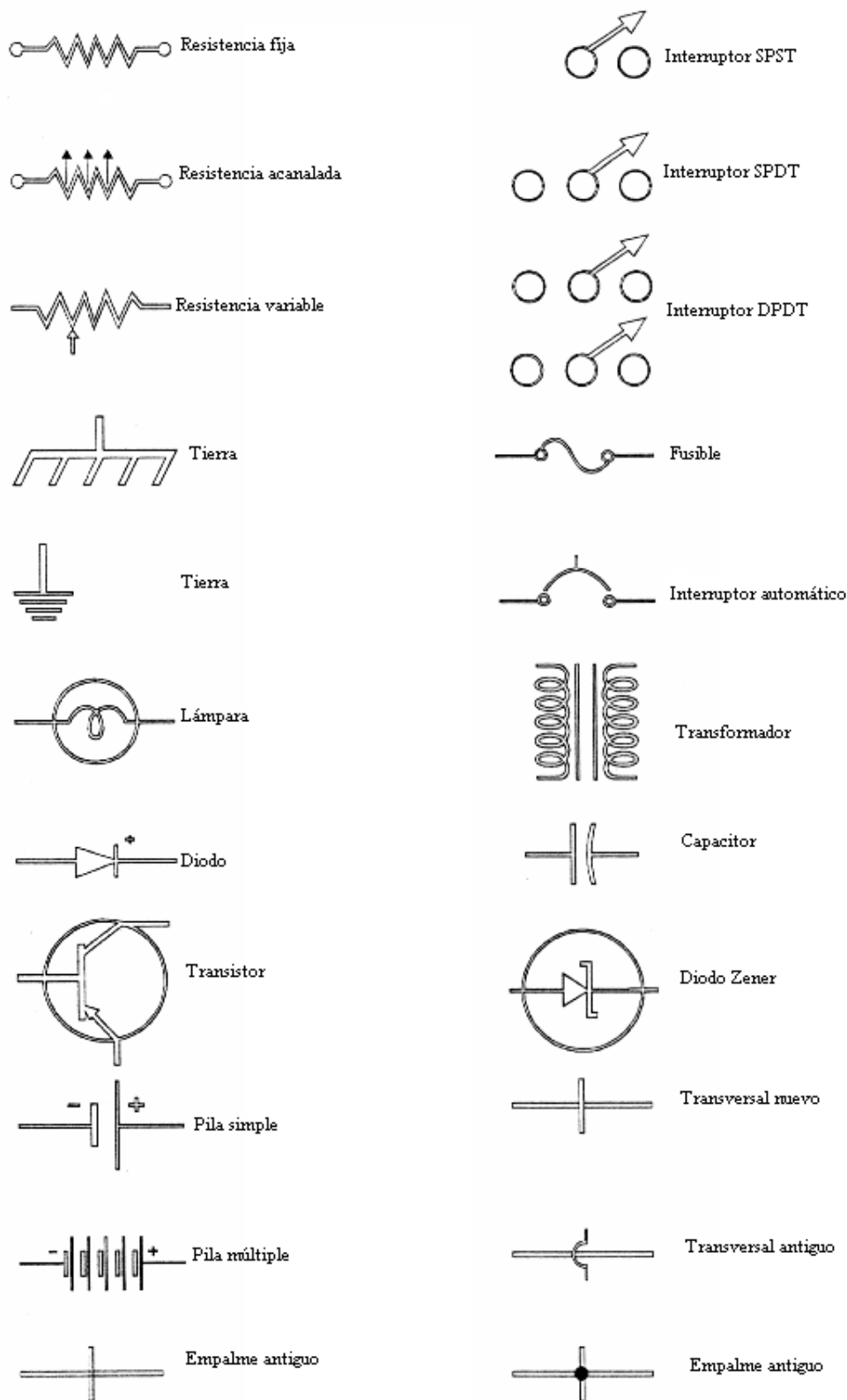


Figura 68

En la siguiente imagen podemos observar un montaje en el que intervienen, un módulo de bornes de conexión montado sobre un carril DIN, al que se encuentran conectados tres detectores.



**Figura 69**



**Figura 70**

## Identificar símbolos eléctricos en los distintos circuitos.

En la tarea número 2 se vieron algunos símbolos eléctricos en las diferentes normas. En esta tarea se utilizarán esos símbolos en una aplicación básica.

### ***CIRCUITOS ELÉCTRICOS EN UNA INSTALACIÓN DE AUTOMATISMO.-***

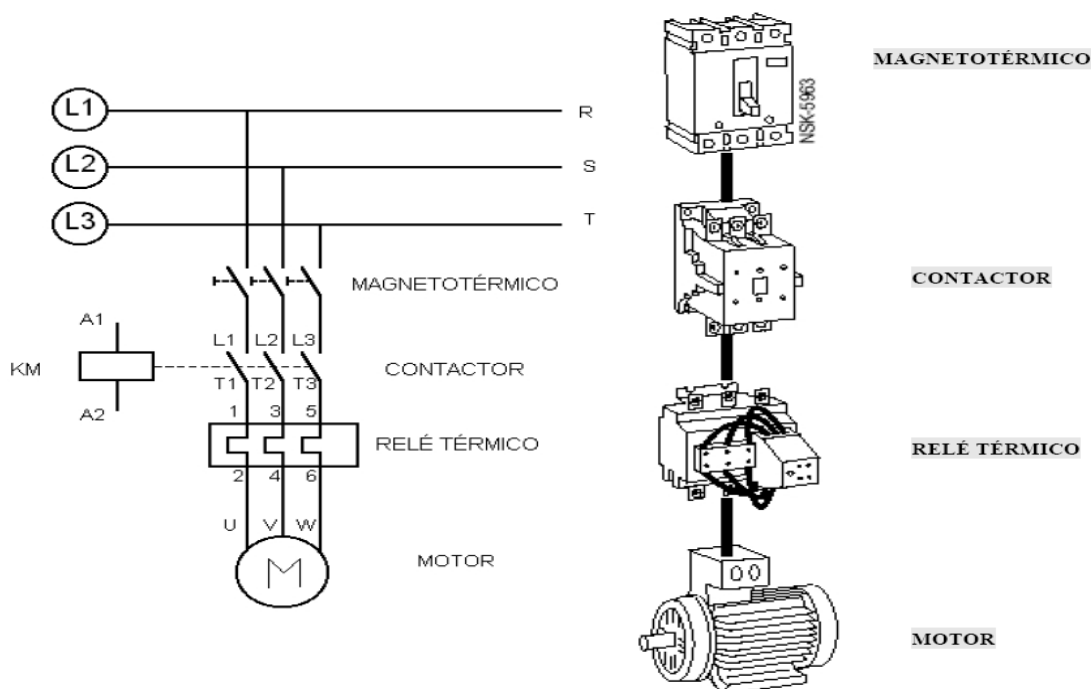
En control de motores se distinguen tres tipos de circuitos:

- **Circuito de potencia o fuerza.**
- **Circuito de maniobras o funcional (Control).**
- **Circuito de conexiones.**

Como ejemplo veamos estos tres circuitos correspondientes al siguiente montaje:

***Motor trifásico alimentado por contactor accionado mediante interruptor y protección por relé térmico.***

***Circuito de potencia o fuerza (Norma DIN):***



**Figura 71**

L1, L2 y L3 corresponden con las tres fases R, S y T de la corriente alterna trifásica que alimenta el circuito. En cuanto al motor se trata de un motor asíncrono trifásico, que deberá estar conectado en “estrella” o “triángulo”, según sea necesario. Es conveniente indicar las letras o números correspondientes a los terminales de cada mecanismo.

Para La norma NEMA sería

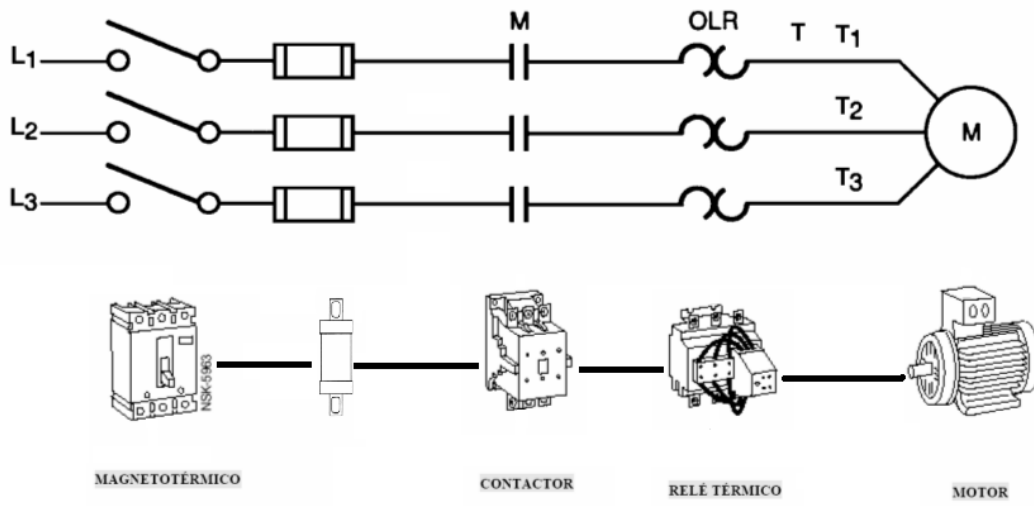


Figura 72

DIL 00 M hasta DIL 2 AM

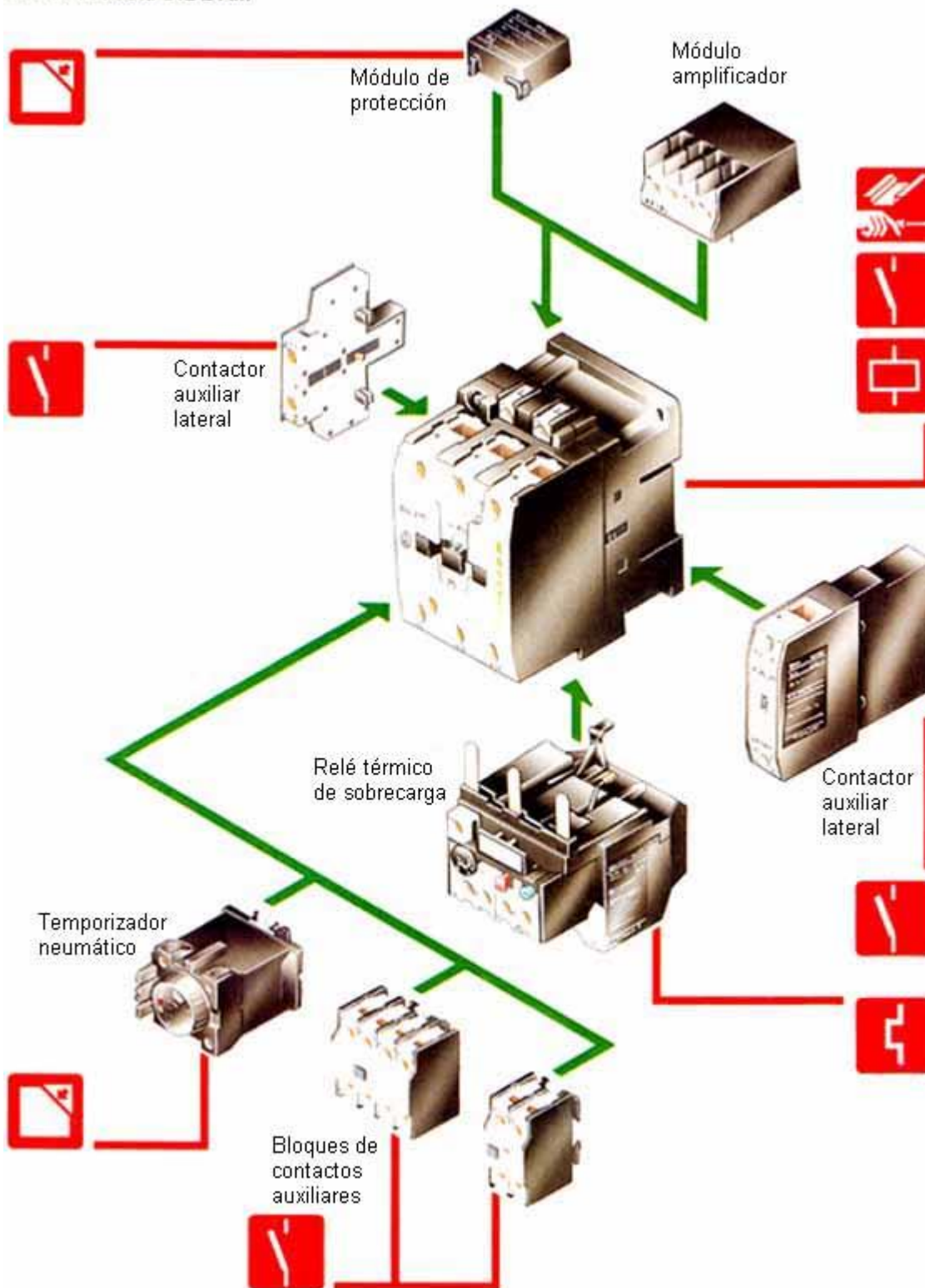


Figura 73

## Circuito de maniobras:

Norma DIN :

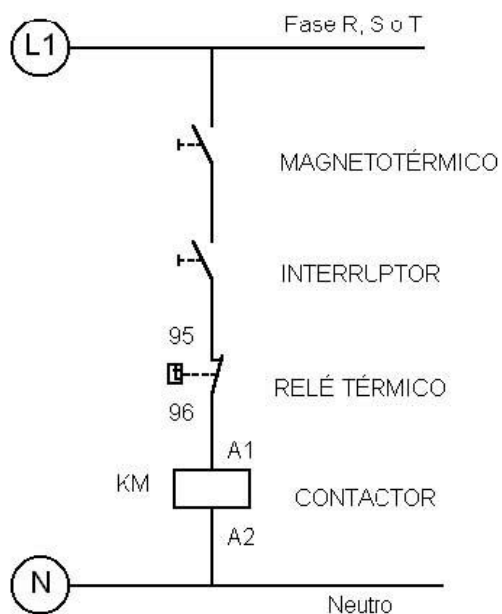


Figura 74

En la norma NEMA sería

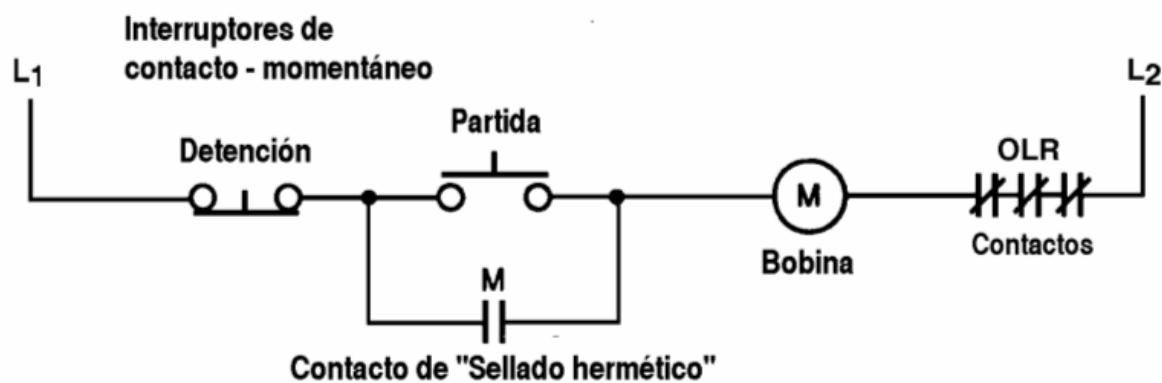
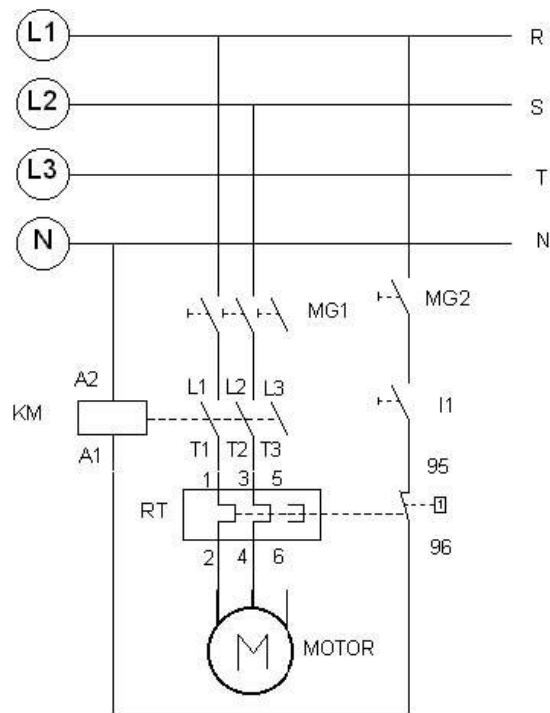


Figura 75

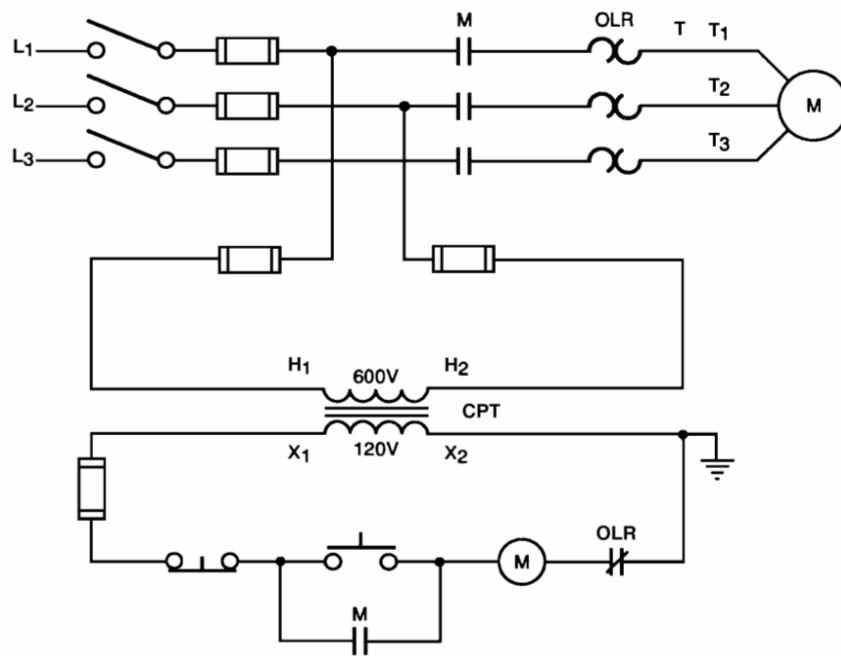
El circuito de maniobras es el que estará sometido a la *menor tensión posible*. Teniendo en cuenta que el receptor de este circuito es la bobina (A1-A2) del contactor, la intensidad que circulará por él será muy inferior a la del circuito de fuerza, por lo tanto la *sección* de los conductores puede ser *inferior* a la del circuito anterior.

**Circuito de conexiones: Norma DIN:**



**Figura 76**

En la norma NEMA sería



**Figura 77**

Uniendo en un solo esquema el **circuito de fuerza** y el de **maniobras**, obtenemos el **circuito de conexiones**. En él podemos ver con claridad cómo se conectan todos los elementos de la instalación

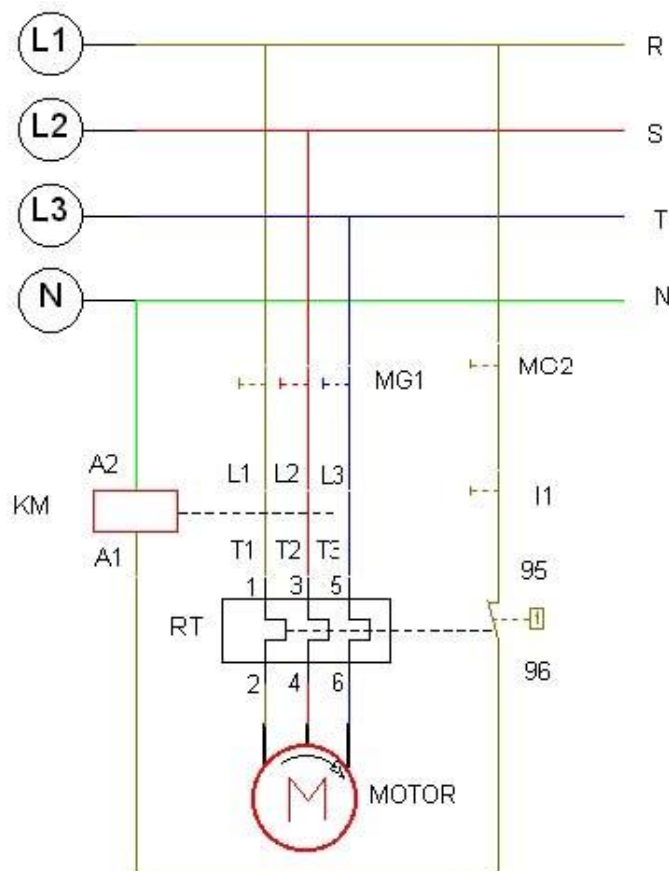
**Funcionamiento del circuito:**

Una vez realizado el montaje del circuito, para comprobar su funcionamiento, seguiremos los siguientes pasos:

1. Cerramos el magnetotérmico tripolar del circuito de fuerza MG1.
2. Cerramos el magnetotérmico del circuito de maniobras MG2.
3. Por último cerramos el interruptor I1.

La corriente circulará hacia la bobina del contactor KM, apareciendo entre los terminales A1 y A2 una tensión de 220 V. La bobina al tener un núcleo de hierro se convierte en un electroimán, atrayendo los contactos del contactor que se cierran, permitiendo el paso de la corriente hacia el motor.

Cuando esté funcionando el motor, el circuito de conexiones quedará de la siguiente forma:



**Figura 78**

## 4.4 Literatura técnica de equipos y componentes de tableros de distribución fuerza y control

### Normas de Instalación y Montaje

**Norma NCH: NSEG 5 E.n. 71 (ELECTRICIDAD. Instalaciones de Corrientes Fuertes.)**

#### Distancias de Críticas

### ARTÍCULO 1º

**1.1.-** Esta Norma tiene por objeto fijar las disposiciones para la ejecución de instalaciones eléctricas de corrientes fuertes y para el mejoramiento o modificaciones de las existentes.

**1.2.-** Son consideradas como instalaciones de corrientes fuertes aquellas que presentan en ciertas circunstancias un peligro para las personas o las cosas, entendiéndose como tales las instalaciones que sirven para generar, transportar, convertir, distribuir y utilizar energía eléctrica.

### ARTÍCULO 104º

**104.1.-** La distancia de los conductores entre sí, así como entre cada conductor y el soporte deberá ser tal que no haya peligro de formación de arco entre conductores y el soporte o entre los conductores entre sí, como consecuencia de las oscilaciones producidas por el viento o de la nieve acumulada sobre los conductores.

**104.2.-** Las distancias de los conductores entre sí, y de éstos a los soportes indicados en los artículos 105 y 106, son valores mínimos que deberán adoptarse siempre que no se justifiquen mediante cálculos valores menores. Las Empresas deberán en todo caso fijar dichas distancias de acuerdo con las condiciones locales.

### ARTÍCULO 105

**105.1.-** Las distancias mínimas entre un conductor y la estructura serán las siguientes:

Tensión de la línea	Distancia en cm.
Hasta 250 Volts entre conductor y tierra	3
Más de 250 Volts entre conductor y tierra, Y hasta 1.000 Volts entre 2 conductores	5
Más de 1.000 Volts, hasta 10.000 Volts entre conductores	8

**Las distancias mínimas entre un conductor y la estructura**

Otros factores presentes en el cálculo de la distancia crítica y que deben ser considerados por las empresas dedicadas al rubro, ajustando dicha norma al lugar específico de instalación o montaje, tales como:

- Altura sobre el nivel del mar
- Nivel de Contaminación
- Sobrevoltajes de origen interno

## **PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD (Retiro/Puesta en servicio equipos)**

1.- Los trabajos en instalaciones de corrientes fuertes, aun cuando no estén con tensión, deberán ser ejecutados por personal preparado y premunido de equipos apropiados. Si para ciertos trabajos es necesario recurrir a personas que no tengan preparación especial, deberá instruírseles en forma clara y precisa sobre la labor que les corresponda ejecutar y deberá mantenerse una estrecha vigilancia mientras trabajen.

2.- Sólo podrán ejecutarse trabajos en instalaciones vivas de alta y baja tensión cuando se emplee personal especializado, provisto del equipo adecuado. Este equipo deberá contar con la aprobación de la Superintendencia. Los responsables de la explotación deberán poner en práctica un programa regular de inspección, pruebas y mantenimiento de dichos equipos para constatar su eficiente funcionamiento.

## **INSTALADORES A-B-C-D**

En Chile, a través de la SEC y de acuerdo con lo establecido en el [Decreto Supremo Nº 92](#) de 1983 y sus modificaciones, la SEC entrega cuatro tipos de licencias (A, B, C y D) para instaladores eléctricos, según el grado de conocimiento necesario para el diseño y mantenimiento de la instalación.

### **Clase A**

Para realizar instalaciones de alta y baja tensión, sin límite de potencia instalada. Para esta licencia se requiere título de Ingeniero Civil Electricista, Ingeniero de Ejecución Electricista, o equivalentes.

### **Clase B**

Permite ejecutar instalaciones de baja tensión, con 500 kW máximo de potencia instalada. Incluye:

Instalaciones que conllevan riesgo de explosión o incendio o que sirven para espectáculos públicos o de diversión.

Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 100 kW de

potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.

Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión con un máximo de 50 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.

Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 10 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.

Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión, con un máximo de 5 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.

Para esta licencia se requiere ser titulado de Técnico Electricista, o su equivalente, en algún centro de estudios superiores aceptado por esta Superintendencia.

### Clase C

Permite realizar instalaciones en baja tensión. Incluye:

- Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 100 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.
- Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión con un máximo de 50 kW de potencia instalada total y límites máximos para cada alimentador y subalimentador de 10 kW de potencia por fase.
- Instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 10 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.
- Instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión, con un máximo de 5 kW de potencia total instalada, sin alimentadores.
- Para esta licencia se requiere ser titulado de Técnico Electricista, o su equivalente, en algún centro de estudios superiores.

### Clase D

Permite realizar instalaciones de alumbrado en baja tensión con un máximo de 10 kW de potencia total instalada, sin alimentadores; e instalaciones de calefacción y fuerza motriz en baja tensión, con un máximo de 5 kW de potencia total instalada, sin alimentadores. Para esta licencia se necesita un título en la especialidad de electricidad en algún centro de estudios superiores.

## **ARTÍCULO 16º**

**16.1.-** Como regla general, las personas responsables de la explotación darán al encargado de los trabajos instrucciones escritas relativas al momento, al lugar y a la clase de trabajos por ejecutar.

**16.2.-** Se pueden omitir las instrucciones escritas en los siguientes casos:

- a) Cuando la persona encargada de ejecutar el trabajo es técnicamente competente y posee experiencia suficiente para asumir su responsabilidad y adoptar las precauciones que necesita su propia seguridad y la sus ayudantes.
- b) Cuando las personas responsables de la explotación ejecutan por sí mismas o hacen ejecutar bajo su propia vigilancia las conexiones y desconexiones necesarias y vigilan personalmente los trabajos.

**16.3.-** Cuando una orden sea dada verbalmente por teléfono o radio, deberá ser repetida por la persona que la recibe.

**16.4.-** Cuando sea necesario suprimir la tensión para la ejecución de trabajos en una parte de una instalación, dichos trabajos no podrán iniciarse sino cuando se esté completamente seguro de que esta parte de la instalación se encuentra sin tensión y haya sido conectada a tierra, según se establece en el inciso 16.7. Asimismo, no se deberá reconectar la instalación, sino después de haberse asegurado que no existe ningún peligro para el personal. En cuanto sea posible, los momentos de desconexión y reconexión se confirmarán por comunicación directa entre las personas responsables, por una parte, de la operación y, por otra parte, del trabajo. En caso de no disponerse de este recurso, se deberá fijar de antemano por escrito los intervalos de tiempo durante los cuales la tensión será suprimida, ajustándose en este caso de una manera exacta los relojes; para mayor seguridad se cuidará que transcurra cierto tiempo entre el término de los trabajos y la reconexión del circuito.

**16.5.-** Cuando haya posibilidad que por error o inadvertencia puedan operarse interruptores o seccionadores que pongan en peligro al personal, los mecanismos de comando de estos aparatos serán asegurados con cerrojos y premunidos de un letrado, con una advertencia de peligro (por ejemplo: Peligro, no conectar sin autorización de...“).

**16.6.-** Si se debe trabajar en partes de instalaciones de alta tensión y baja tensión desconectadas, se pondrán previamente éstas a tierra y en cortocircuito. Las personas responsables de la explotación velarán para que, durante toda la ejecución de los trabajos no se realice ninguna conexión o maniobra susceptible de poner en peligro al personal. La conexión a tierra y la puesta en cortocircuito no podrán ser suprimidas sino después que hayan cesado todos los trabajos y que todo el personal haya sido advertido y alejado.

**16.7.-** La conexión a tierra y la puesta en cortocircuito se harán en la proximidad de la obra y si es posible entre esta última y el punto de alimentación. Se harán en todo caso de manera que no puedan ser interrumpidas por los trabajos por realizar. Si una instalación puede ser puesta en tensión, ya sea por contacto o por inducción desde varios lados, se tendrá en cuenta este hecho colocando un número suficiente de puestas a tierra.

**16.8.-** Si para la ejecución de trabajos en partes de instalaciones desconectadas se requiere que el personal opere apoyado en estructuras metálicas éstas deberán conectarse a la misma puesta a tierra que las partes conductoras indicadas en los incisos 16.6 y 16.7 del presente artículo.

## **ARTÍCULO 17º**

**17.1.-** Las empresas deberán poner en conocimiento del personal ocupado en las instalaciones de corrientes fuertes, las prescripciones y disposiciones relativas a la seguridad en los trabajos y a primeros auxilios.

**17.2.-** Si se trata de trabajos susceptibles de poner la vida en peligro que amenacen la salud, las empresas deberán premunir a su personal de los medios de protección y primeros auxilios necesarios.

## **ARTICULO18º**

Si los trabajos que una Empresa desea realizar en sus propias instalaciones, pudieran interferir con trabajos o instalaciones de otra empresa, en forma que para cualquiera de ellas signifique peligro para las instalaciones o el personal, perturbaciones de servicio o daños de cualquier naturaleza, deberán adoptarse de común acuerdo las medidas de seguridad adecuadas, para evitar todo peligro o perturbaciones. En caso de desacuerdo resolverá la Superintendencia.

## **ARTÍCULO 19º**

Deberá disponerse de un servicio de comunicaciones entre las instalaciones importantes de producción y distribución de energía eléctrica, el cual podrá ser telefónico o de radio comunicaciones, de carácter público o privado.

## TIERRAS

### ARTÍCULO 20º

Las conexiones a tierra o simplemente “Tierra” en el sentido de la presente Norma, se dividen en tierras permanentes y tierras temporales. Las tierras permanentes se dividen en tierras de protección y tierras de servicio.

### ARTÍCULO 21º

**21.1.-** Se entiende por “**Tierra de protección**” la destinada a evitar la aparición de tensiones peligrosas entre partes de las instalaciones que normalmente están sin tensión y otras partes vecinas que puedan encontrarse al potencial local de tierra.

**21.2.-** Deberán conectarse a la tierra de protección todas las partes metálicas de una instalación que normalmente estén sin tensión, como carcasas y chasis de máquinas, de transformadores o de aparatos, partes conductoras accesibles de estructuras y edificios, cubiertas de plomo de cable de alta y baja tensión, etc.  
De igual forma deberá conectarse a tierra de protección los dispositivos de puesta a tierra de las líneas aéreas y el cable de guardia de las mismas.

**21.3.-** Las partes de la instalación y las carcasas que por razones especiales no llevan tierra de protección, deberán considerarse que están con la tensión de servicio completa; deberá por lo tanto impedirse el acceso a ellas o bien disponerlas de tal manera que solamente sean accesibles desde un lugar aislado para la tensión completa.

### ARTÍCULO 22º

**22.1.-** Se entiende por “**Tierra de servicio**” aquellas destinadas a conectar en forma permanente a tierra ciertos puntos del circuito eléctrico de las instalaciones de corrientes fuertes.

**22.2.-** Deberán conectarse a la tierra de servicio: los limitadores de tensión, el neutro u otro punto del sistema si hay razones de servicio que aconsejen dicha conexión.  
Se consideran como exención los casos considerados en el Art. 24º.

### ARTÍCULO 23º

**23.1.-** La conexión a tierra de los limitadores de tensión deberán hacerse siguiendo el camino más corto y recto posible. Los conductores de unión no deberán atravesar orificios o tubos de materiales magnéticos.

**23.2.-** Las conexiones a la tierra de servicio deberán hacerse con alambres o cables conductores en lo posible sin uniones; no se aceptarán el uso de las partes conductoras de construcciones metálicas para estas conexiones.

## **ARTÍCULO 24º**

**24.1.-** Cuando se trata de evitar que la elevación de potencial de la malla de tierra de la instalación, sea de protección o de servicio, afecte a las partes de la red situadas fuera de su zona eficaz, se emplearán mallas de tierra separadas para la conexión a tierra de dicha red.

**24.2.-** Cuando existan circuitos de comunicación o de baja tensión protegidos mediante transformadores de aislación, el lado de línea de éstos se conectarán a una tierra separada.

**24.3.-** Si una línea de tierra distinta atraviesa la zona eficaz de una malla de protección o de servicio, debe aislarse dentro de esta zona para la máxima elevación de tensión de esta malla.

## **ARTÍCULO 25º**

**25.1.-** Los conductores a tierra deberán ser ampliamente dimensionados para las corrientes a tierra previsible.

**25.2.-** No deberán intercalarse dispositivos de desconexión ni fusibles en los circuitos de tierra.

**25.3.-** Los conductores de tierra deberán ser en lo posible del mismo material que los electrodos que se emplean; su sección será de 16 mm<sup>2</sup>, por lo menos, cuando el conductor sea de cobre.

**25.4.-** Los conductores de conexión a tierra con sus conexiones y uniones en la parte que no estén enterrados deberán poder ser identificados fácilmente y accesibles para permitir su control. Deberán estar alejados de las partes combustibles de los edificios y protegidos contra los daños mecánicos y los efectos de la corrosión.

## **ARTÍCULO 26º**

**26.1.-** Cuando se construya una malla de tierra alejada de la instalación o cuando se interconecten dos mallas alejadas, la unión deberá hacerse mediante dos conductores independientes.

**26.2.-** En general se empleará la misma malla de tierra con fines de protección y de servicio, cuando ambas pertenezcan a circuitos de la misma tensión. Cuando se empleen mallas diferentes deberá verificarse que no haya peligro para las instalaciones o las personas, para las corrientes máximas que puedan circular en las mallas.

## **ARTÍCULO 27º**

**27.1.-** Por resistencia de paso a tierra se entiende el cociente de la tensión entre un punto de la malla y la tierra propiamente dicha y la corriente que circula por la malla.

**27.2.-** Cuando se emplee una única puesta a tierra para protección y servicio, la resistencia de paso a tierra, incluyendo las conexiones, deberá ser inferior a 3 ohm si se usan las cañerías de agua como puesta a tierra e inferior a 25 ohm si se emplea otro tipo de electrodos. Cuando sea imposible obtener una resistencia inferior a 25 ohm mediante un electrodo único se colocarán dos o más electrodos distantes entre sí 2 m, por lo menos.

## **ARTÍCULO 28º**

**28.1.-** Los electrodos estarán constituidos por placas, tubos, cintas o por otras formas metálicas apropiadas.

**28.2.-** Las placas de cobre tendrán por lo menos 1 mm de espesor y las de fierro galvanizado 5 mm como mínimo.

**28.3.-** Los tubos o barras que constituyen un electrodo deberán tener un diámetro exterior de 15 mm, por lo menos y deberán enterrarse verticalmente en una longitud no inferior a 2 m. La separación entre dos barras o tubos interconectados será de 2 m, por lo menos.

**28.4.-** Las cintas que constituyen un electrodo deberán, si ellas son de cobre, tener una sección mínima de 75 mm<sup>2</sup>, y un espesor de 3 mm, por lo menos; si son de fierro galvanizado la sección no deberá ser inferior a 125 mm<sup>2</sup>, ni el espesor menor a 5 mm.

**28.5.-** Los cables o alambres que constituyan un electrodo deberán tener, si son de cobre, una sección mínima de 16 mm<sup>2</sup>, y si son de fierro galvanizado la sección no deberá ser inferior a 25 mm<sup>2</sup>.

## **ARTÍCULO 29º**

**29.1.-** Todos los electrodos deberán ser enterrados en cuanto sea posible en la tierra húmeda.

**29.2.-** En el caso que no sea posible obtener valores aceptables de la resistencia de paso a tierra, podrá recurrirse a medios artificiales, como el uso de sales, carbones, etc., siempre que se prevean los medios para su adecuada conservación.

**29.3.-** Los electrodos de tierras separadas como asimismo las conexiones a estos electrodos deberán establecerse de manera de influenciarse lo menos posible con otras puestas a tierra

## **ARTÍCULO 30º**

**30.1.-** En instalaciones de baja tensión de corriente alterna, el punto neutro del sistema deberá conectarse a tierra. Las instalaciones aisladas de tierra deberán ser aprobadas por la Superintendencia.

**30.2.-** El neutro deberá considerarse como un conductor con tensión.

## **ARTÍCULO 31º**

Toda instalación de tierra deberá ser controlada periódicamente en todas sus partes accesibles. La resistencia de paso a tierra deberá ser medida en estas ocasiones y se repararán los defectos constatados.

**NCH Elec. 4/2003**

**ELECTRICIDAD INSTALACIONES DE CONSUMO EN BAJA TENSIÓN**

**Octubre de 2003**

## **TABLEROS**

### **6.0.- CONCEPTOS GENERALES**

- 6.0.1.- Los tableros son equipos eléctricos de una instalación, que concentran dispositivos de protección y de maniobra o comando, desde los cuales se puede proteger y operar toda la instalación o parte de ella.
- 6.0.2.- La cantidad de tableros que sea necesario para el comando y protección de una instalación se determinará buscando salvaguardar la seguridad y tratando de obtener la mejor funcionalidad y flexibilidad en la operación de dicha instalación, tomando en cuenta la distribución y finalidad de cada uno de los recintos en que estén subdivididos el o los edificios componentes de la propiedad.
- 6.0.3.- Los tableros serán instalados en lugares seguros y fácilmente accesibles, teniendo en cuenta las condiciones particulares siguientes:
  - 6.0.3.1.- Los tableros de locales de reunión de personas se ubicarán en recintos sólo accesibles al personal de operación y administración.
  - 6.0.3.2.- En caso de ser necesaria la instalación de tableros en recintos peligrosos, éstos deberán ser contruidos utilizando equipos y métodos constructivos acorde a las normas específicas sobre la materia.
- 6.04.- Todos los tableros deberán llevar estampada en forma visible, legible e indeleble la marca de fabricación, la tensión de servicio, la corriente nominal y el número de fases. El responsable de la instalación deberá agregar en su oportunidad su nombre o marca registrada.

## 6.1.- CLASIFICACIÓN

- 6.1.1.- Atendiendo a la función y ubicación de los distintos Tableros dentro de la instalación, estos se clasificarán como sigue:
  - 6.1.1.1.- Tableros Generales: Son los tableros principales de las instalaciones. En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación de consumo en forma conjunta o fraccionada.
  - 6.1.1.2. Tableros Generales Auxiliares: Son tableros que son alimentados desde un tablero general y desde ellos se protegen y operan subalimentadores que energizan tableros de distribución.
  - 6.1.1.3.- Tableros de Distribución: Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente sobre los circuitos en que está dividida una instalación o parte de ella; pueden ser alimentados desde un tablero general, un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme.
  - 6.1.1.4 Tableros de Paso: Son tableros que contienen protecciones cuya finalidad es proteger derivaciones que por su capacidad de transporte no pueden ser conectadas directamente a un alimentador, subalimentador o línea de distribución del cual están tomadas.
  - 6.1.1.5. Tableros de Comando: Son tableros que contienen los dispositivos de protección y de maniobra que permiten proteger y operar sobre artefactos individuales o sobre grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito.
  - 6.1.1.6.- Centros de Control: Son tableros que contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y que permiten la operación de grupos de artefactos, en forma individual, en subgrupos, en forma programada o manual.
- 6.1.2 Atendiendo a la utilización de la energía eléctrica controlada desde un tablero, éstos se clasificarán en:
  - Tableros de Alumbrado,
  - Tableros de Fuerza,
  - Tableros de Calefacción,
  - Tableros de Control,
  - Tableros de Computación.

Esta clasificación es complementaria con la señalada en 6.1.1.

## 6.2.-ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

### 6.2.1.- Formas constructivas

- 6.2.1.1.- Todos los dispositivos y componentes de un tablero deberán montarse dentro de cajas, gabinetes o armarios, dependiendo del tamaño que ellos alcancen.
- 6.2.1.2.- Los materiales empleados en la construcción de tableros deberán ser resistentes al fuego, autoextinguentes, no higroscópicos, resistentes a la corrosión o estar adecuadamente protegido contra ella.
- 6.2.1.3.- Todos los tableros deberán contar con una cubierta cubre equipos y con una puerta exterior. La cubierta cubre equipos tendrá por finalidad impedir el contacto de cuerpos extraños con las partes energizadas, o bien, que partes energizadas queden al alcance del usuario al operar las protecciones o dispositivos de maniobra; deberá contar con perforaciones de tamaño adecuado como para dejar pasar libremente, sin que ninguno de los elementos indicados sea solidario a ella, palanquitas, perillas de operación o piezas de reemplazo, si procede, de los dispositivos de maniobra o protección. La cubierta cubre equipos se fijará mediante bisagras en disposición vertical, elementos de cierre a presión o cierres de tipo atornillado; en este último caso los tornillos de fijación empleados deberán ser del tipo imperdible.

La puerta exterior será totalmente cerrada permitiéndose sobre ella sólo luces piloto de indicación de tablero energizado. Su fijación se hará mediante bisagras en disposición vertical u horizontal.

Las partes energizadas de un tablero sólo podrán alcanzarse removiendo la cubierta cubre equipos, entendiéndose que esta maniobra solo se realizará por necesidad de efectuar trabajos de mantenimiento o modificaciones en el interior del tablero.

Los elementos de operación de las protecciones o dispositivos de maniobra sólo serán accesibles abriendo la puerta exterior la que deberá permanecer cerrada, para lo cual deberá contar con una chapa con llave o un dispositivo equivalente.

Se podrá exceptuar de la exigencia de contar con puerta exterior a todo tablero de uso doméstico o similar, con no más de cuatro circuitos.

- 6.2.1.4.- Las cajas mencionadas en 6.2.1.1 se utilizarán para montajes embutidos o sobrepuestos en muros y se utilizarán en el montaje de tableros de baja capacidad y dimensiones reducidas.
- 6.2.1.5.- Los gabinetes mencionados en 6.2.1.1 se utilizarán para montajes embutidos o sobrepuestos en muros o bien sobre estructuras autosoportantes y se utilizarán en el montaje de tableros de mediana capacidad y dimensiones.
- 6.2.1.6.- Los armarios mencionados en 6.2.1.1 se utilizarán en el montaje de tableros de gran capacidad, se construirán de modo tal que sean autosoportantes y se montarán anclados al piso. Además de ser accesibles frontalmente a través de puertas y cubiertas cubre equipos como las prescritas

en 6.2.1.3 podrán ser accesibles por los costados o por su parte trasera mediante tapas removibles fijadas mediante pernos del tipo imperdible.

- 6.2.1.7.-El conjunto de elementos que constituyen la parte eléctrica de un tablero deberá ser montado sobre un bastidor o placa de montaje mecánicamente independiente de la caja, gabinete o armario los que se fijarán a éstos mediante pernos, de modo de ser fácilmente removidos en caso de ser necesario.
- 6.2.1.8.-El tamaño de caja, gabinete o armario se seleccionará considerando que:
  - El cableado de interconexión entre sus dispositivos deberá hacerse a través de bandejas no conductoras que permitan el paso cómodo y seguro de los conductores.
  - Deberá quedar un espacio suficiente entre las paredes de las cajas, gabinetes o armarios y las protecciones o dispositivos de comando y/o maniobra de modo tal de permitir un fácil mantenimiento del tablero.
  - Se deberá considerar un volumen libre de 25% de espacio libre para proveer ampliaciones de capacidad del tablero.
- 6.2.1.9.-Las cajas, gabinetes o armarios en que se monten los tableros podrán ser contruidos con placas de acero o materiales no conductores.
- 6.2.1.10.- Las cajas y gabinetes metálicos podrán estar contruidos por placas de acero plegadas y soldadas las que le darán forma y rigidez mecánica. Los armarios metálicos se estructurarán sobre bastidores de perfiles de resistencia mecánica adecuada a las exigencias del montaje y se cerrarán con placas plegadas las que formarán sus cubiertas y puertas. Será recomendable la construcción modular de estos contenedores de modo de poder construir tableros de gran tamaño mediante el montaje de grupos de estos módulos.
- 6.2.1.11.- Las placas de acero que se utilicen en la construcción de cajas, gabinetes o armarios tendrán espesores mínimos de acuerdo a lo indicado en la tabla No 6.2.
- 6.2.1.12.-Todos los componentes metálicos de cajas, gabinetes y armarios deberán someterse a un proceso de acabado que garantice una adecuada resistencia a la corrosión; este proceso consistirá a lo menos en un lavado de desgrase, decapado ácido, imprimación, aplicación de dos manos de esmalte anticorrosivo y aplicación por proceso de adherencia electrostática de dos manos de esmalte de acabado. La calidad de esta terminación se deberá comprobar mediante la aplicación de las normas de control de calidad correspondientes
- 6.2.1.13.- Los materiales no metálicos empleados en la construcción de cajas, gabinetes o armarios deberán cumplir las siguientes condiciones:
  - Serán no higroscópicos.
  - En caso de combustión deberán ser autoextinguentes, arder sin llama y emitir humos de baja opacidad, sus residuos gaseosos serán no tóxicos.
  - Tendrán una resistencia mecánica suficiente como para soportar una

energía de choque de 2 joules para tableros con puerta y 0,5 joules para tableros sin puerta.

*NA.-En tanto no se dicte la Norma Nacional correspondiente la calidad de los materiales no metálicos destinados a la construcción de tableros se podrá ensayar de acuerdo a la Norma CEI 695.*

Tensiones de servicio [V]	Distinta polaridad tendido al aire	Distinta polaridad montada sobre la misma superficie	Partes energizadas con respecto a tierra
	[mm]		
0 a 200	15	20	15
201 a 400	20	35	15
401 a 1000	30	50	30

#### **Espesor mínimo de la plancha de acero para cajas, gabinetes o armarios**

- 6.2.1.14.-Las distancias mínimas entre partes desnudas energizadas dentro de un tablero serán determinadas de acuerdo a la Tabla No 6.3. Se exceptúan de esta exigencia a las distancias entre contactos de dispositivos de protección y de maniobra las cuales deberán cumplir con las Normas específicas respectivas.

Tensiones de servicio [V]	Distinta polaridad tendido al aire	Distinta polaridad montada sobre la misma superficie	Partes energizadas con respecto a tierra
	[mm]		
0 a 200	15	20	15
201 a 400	20	35	15
401 a 1000	30	50	30

#### **Distancias entre partes energizadas desnudas dentro de un tablero**

- 6.2.1.15 Los tableros deberán construirse con un índice de protección (grado IP) adecuado al medio ambiente y condiciones de instalación. En general no se aceptará la construcción de tableros de tipo abierto. Ver 5.3.2.

*NA.- De acuerdo a esta disposición no será aceptable la construcción de tableros grados IP00 y como referencia se sugiere considerar un grado IP 41 como mínimo para tableros en interior e IP44 como mínimo para tableros instalados en exterior.*

- 6.2.1.16 La altura mínima de montaje de los dispositivos de comando o accionamiento colocados en un tablero será de 0,60 m y la altura máxima será de 2,0 m, ambas distancias medidas respecto del nivel de piso terminado.

## 6.2.2.- Material eléctrico

- 6.2.2.1.-Los conductores de alimentación que lleguen a un tablero deberán hacerlo a puentes de conexión o barras metálicas de distribución desde donde se harán las derivaciones para la conexión de los dispositivos de comando o protección constitutivos del tablero. No se aceptará el cableado de un tablero con conexiones hechas de dispositivo a dispositivo.
- 6.2.2.2.-Las barras de distribución se deberán montar rígidamente soportadas en las cajas, gabinetes o armarios; estos soportes deberán ser aislantes.
- 6.2.2.3.-La cantidad y dimensiones de los soportes de barras se fijarán de acuerdo al cálculo de esfuerzos dinámicos que se originen en la más alta corriente de cortocircuito estimada para el tablero y teniendo en consideración la presencia de armónicas de corriente o tensión que puedan originar resonancias mecánicas de las barras.
- 6.2.2.4.-Tanto las barras como los conductores del cableado interno de los tableros deberán cumplir el código de colores indicado en 8.0.4.15.
- 6.2.2.5 La capacidad de transporte de corriente de las barras de distribución de un tablero se fijará de acuerdo a la tabla No 6.4.
- 6.2.2.6.-Todo el cableado interno de los tableros que corresponda a la alimentación de los consumos externos se deberá hacer llegar a regletas de conexiones de modo tal que los conductores externos provenientes de estos consumos se conecten a estas regletas y no directamente a los terminales de los dispositivos de protección o comando.
- 6.2.2.7.-Todos los tableros cuya capacidad sea igual o superior a 200 Amperes deberán llevar instrumentos de medida que indiquen la tensión y corriente sobre cada fase.
- 6.2.2.8 Todos los tableros deberán llevar luces piloto sobre cada fase para indicación de tablero energizado. Se exceptúan de esta exigencia a los tableros de uso doméstico o similar de menos de ocho circuitos.
- 6.2.2.9.-Los tableros generales y generales auxiliares considerados en 6.2.2.7 y aquellos cuyas características de funcionamiento lo exijan deberán llevar luces piloto de indicación del estado de funcionamiento de cada uno de los alimentadores, subalimentadores o circuitos controlados desde ellos.
- 6.2.2.10.-Los dispositivos de control, luces piloto, instrumentos de medida u otros similares montados en un tablero y que necesiten de energía eléctrica para su funcionamiento, deberán ser alimentados desde circuitos independientes cuya protección podrá ser como máximo de 10 Amperes y de la capacidad de ruptura adecuada.

### 6.2.3.-Orden de conexionado

- 6.2.3.1.-Los conductores del lado de la alimentación llegarán siempre al dispositivo de maniobra y de allí al dispositivo de protección, en caso que éstos constituyan elementos separados.

Dimensiones de las barras [mm <sup>2</sup> ]	Barras pintadas Número de barras				Barras desnudas Número de barras			
	I	II	III	50 mm* II II	I	II	III	50 mm* II II
12x2	125	225			110	200		
15x2	155	270			140	240		
15x3	185	330			170	300		
20x2	205	350			185	315		
20x3	245	425			220	380		
20x5	325	560			295	500		
25x3	300	520			270	460		
25x5	395	670			350	600		
30x3	355	610			315	540		
30x5	450	780			400	700		
40x3	460	790			425	710		
40x5	600	1.000			520	900		
40x10	850	1.500	2.060	2.800	760	1.350	1.850	2.500
50x5	720	1.220	1.750	2.300	630	1.100	1.650	2.100
50x10	1.030	1.800	2.450	3.330	920	1.600	2.250	3.000
60x5	850	1.430	1.950	2.650	760	1.250	1.760	2.400
60x10	1.200	2.100	2.800	3.700	1.060	1.900	2.600	3.500
80x5	1.070	1.900	2.500	3.200	870	1.700	2.300	3.000
80x10	1.560	2.500	3.300	4.500	1.380	2.300	3.100	4.200
100x5	1.350	2.300	3.000	3.800	1.200	2.050	2.850	3.500
100x10	1.880	3.100	4.000	5.400	1.700	2.800	3.650	5.000
120x10	2.250	3.500	4.500	6.100	2.000	3.100	4.100	5.100
160x10	2.800	4.400	5.800	7.800	2.500	3.900	5.300	7.300
200x10	3.350	5.300	6.900	9.400	3.000	4.750	6.350	8.800

### Capacidad de Corriente para Barras de Cobre de Sección Rectangular Corriente Permanente en Amperes

(\*) Medida mínima para la luz entre pares de barras. Se recomienda utilizar preferentemente barras planas de bordes redondeados

- 6.2.3.2.- Los conductores de alimentación deberán llegar siempre a los contactos fijos de interruptores, disyuntores, seccionadores o contactores; si por alguna razón ineludible no resulta posible cumplir esta exigencia, esta condición deberá indicarse claramente en un letrero colocado bajo el dispositivo correspondiente.
- 6.2.3.3.- En los tableros cuyas protecciones sean fusibles tipo D los conductores del lado de la alimentación llegarán siempre al contacto central de la base.
- 6.2.3.4.- En tableros en que se usen fusibles como limitadores de corriente de cortocircuito, en serie con disyuntores, los conductores de la alimentación llegarán primero a los fusibles.

#### 6.2.4.- Conexión a tierra

- 6.2.4.1.- Todo tablero deberá contar con una barra o puente de conexión a tierra.
- 6.2.4.2.- Si la caja, gabinete o armario que contiene a un tablero es metálico, deberá protegerse contra tensiones peligrosas.
- 6.2.4.3.- Las conexiones a tierra de un tablero deberán cumplir con lo dispuesto en la sección 10

### 6.3.- DISPOSICIONES APLICABLES A TABLEROS GENERALES

- 6.3.1.- Se deberá colocar un tablero general en toda instalación en que exista más de un tablero de distribución y la distancia entre estos tableros y el empalme sea superior a 10 m.
- 6.3.2.- También se deberá colocar un tablero general en aquellas instalaciones en que existiendo un único tablero de distribución, éste esté separado más de 30 m del equipo de medida del empalme y el alimentador de este tablero no quede protegido por la protección del empalme.

NA.- Debe entenderse que las disposiciones de 6.3.1 y 6.3.2 son aplicables en conjunto de *modo* que prima la condición de no existencia de tablero general en caso de que el alimentador esté protegido por la protección del empalme.

- 6.3.3.- Todo tablero del cual dependan más de seis alimentadores deberá llevar un interruptor general o protecciones generales que permitan operar sobre toda la instalación en forma simultánea.

NA.- Dado el hecho de que generalmente esta exigencia se cumple instalando un disyuntor, lo que significa una protección y un elemento de comando reunido en un solo aparato, se tiende a establecer que la norma exige una protección en esta posición, sin embargo 6.3.3 indica que es suficiente con un interruptor (elemento de *comando*)

- 6.3.4.- Los tableros generales auxiliares se colocarán en aquellas instalaciones en que se necesite derivar desde un alimentador, subalimentadores, para energizar distintos tableros de distribución en forma individual o en grupo.
- 6.3.5.- En un tablero general no podrán colocarse dispositivos de operación o protección para alimentadores de distintas tensiones.

#### **6.4.- DISPOSICIONES APLICABLES A TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN**

- 6.4.1.- En un tablero de distribución de Alumbrado no deberán colocarse más de 42 dispositivos de protección distintos a las protecciones generales. Para los efectos de aplicación de esta disposición una protección bipolar se considerará como dos dispositivos de protección y una protección tripolar como tres.
- 6.4.2.- Todo tablero de distribución cuya capacidad sea inferior o igual a 200 Amperes o cuyo alimentador tenga un dispositivo de protección de capacidad nominal inferior o igual a 200 Amperes, no necesitará de dispositivos de operación o protección generales.
- 6.4.3.- En caso de que varios tableros de distribución sean alimentados desde un alimentador común y las protecciones de este tenga una capacidad superior a 200 Amperes, cada tablero de distribución deberá llevar dispositivos de operación y protección generales, aunque su capacidad individual sea inferior a 200 Amperes.
- 6.4.4.- Cuando exista un único tablero de distribución en una instalación se aplicará 6.3.3.
- 6.4.5.- En un tablero de distribución en que se alimentan circuitos de distintos servicios, tales como fuerza, alumbrado, calefacción u otros, las protecciones se deberán agrupar ordenadamente ocupando distintas secciones del tablero. Se colocarán protecciones generales correspondientes a cada servicio cuando las condiciones de seguridad y funcionamiento lo requieran.

## 7.- ALIMENTADORES

### 7.0.-Conceptos Generales

- 7.0.1.- Se clasificarán en:
  - Alimentadores propiamente tales: son aquellos que van entre el equipo de medida y el primer tablero de la instalación, o los controlados desde el tablero general y que alimentan tableros generales auxiliares o tableros de distribución.
  - Subalimentadores: son aquellos que se derivan desde un alimentador directamente o a través de un tablero de paso, o bien, los controlados desde un tablero general auxiliar.
- 7.0.2.- En un circuito, a los conductores a través de los cuales se distribuye la energía se denominarán líneas de distribución y a los conductores que alimentan a un consumo específico o llegan al punto de comando de éste se les denominará derivaciones y, en general, no se les aplicarán las disposiciones de esta sección.
- 7.0.3.- Los alimentadores de una propiedad no deben pasar por partes de una propiedad vecina. En el caso de edificios, para llegar desde el punto de empalme hasta la propiedad respectiva deberán utilizarse los espacios de uso común. Si por razones de arquitectura o de construcción no es posible utilizar los pasillos o pozos de servicio para llevar canalizaciones de alimentadores, se considerará espacios de uso común tanto a los muros exteriores del edificio como aquellos muros que dan a pasillos o escaleras. Si se utilizan muros exteriores se deberá emplear sistemas de canalización que aseguren una resistencia a la corrosión y una hermeticidad adecuadas.

## 2 Protecciones

- 7.1.2.1 Los alimentadores se deberán proteger tanto a la sobrecarga como al cortocircuito, con las protecciones adecuadas a cada situación. Los alimentadores se protegerán a la sobrecarga de acuerdo a la potencia utilizada, estando limitada la protección máxima por la capacidad de transporte de corriente de los conductores. En alimentadores que lleven un conductor de puesta a tierra no deberán colocarse protecciones en este conductor, a menos, que la protección sea de un tipo tal que opere simultáneamente sobre todos los conductores del alimentador. Las derivaciones tomadas desde un alimentador deberán protegerse contra las sobrecargas y los cortocircuitos. Se exceptuarán de esta exigencia a aquellas derivaciones de no más de 10 m de largo, cuya sección no sea inferior a un tercio de la del alimentador y que sean canalizadas en ductos cerrados y, a aquellas que queden protegidas por la protección del alimentador. Cada alimentador deberá tener un dispositivo individual de operación.

## 7.2 DIMENSIONAMIENTO

### 7.2.1 Estimación de cargas

- 7.2.1.1 La carga nominal de un alimentador, según la cual se dimensionará, no será menor que la suma de las cargas de todos los circuitos que sirve el alimentador, determinadas de acuerdo a las secciones 11 y siguientes, y sujetas a las siguientes disposiciones:
  - a) Para alimentadores que sirven cargas permanentes o una combinación de cargas permanentes y cargas intermitentes, el alimentador y sus protecciones se dimensionarán de acuerdo a la suma de las cargas intermitentes, afectadas por el factor de diversidad correspondiente más la carga permanente afectada por el factor de demanda correspondiente.
  - b) Para alimentadores que sirven consumos de alumbrado exclusivamente a la carga total de los circuitos determinada de acuerdo a la sección 11 se le aplicarán los factores de demanda señalados en la tabla No 7.5.  
Estos factores de demanda no se aplicarán sobre subalimentadores en los que puede estar presente la totalidad de la carga en forma permanente o esporádica por períodos superiores a 15 minutos.  
Se aceptarán factores de demanda distintos a los valores indicados en esta tabla, cuando mediante un estudio realizado sobre la base de las características de uso de instalación o las de proceso, se justifique dicho valor.
  - c) En donde las demandas máximas de los distintos subalimentadores no coincidan en el tiempo, se podrá aplicar a la carga del alimentador correspondiente un factor de diversidad fijado de acuerdo a las condiciones específicas de cada caso.
  - d) No se podrá aplicar factores de diversidad a las cargas de subalimentadores.

Tabla No 7.5

Tipo de consumidor	Potencia sobre la que se aplica el factor de demanda		Factor de demanda
	Tramo	KW	
Casa habitación	Primeros	3,0	1,00
	Sobre	3,0	0,35
Hospitales	Primeros	50,0	0,40
	Sobre	50,0	0,20
Hoteles y moteles	Primeros	20	0,50
	Desde	20,1 a 100	0,40
	Sobre	100,0	0,30
Bodegas	Primeros	15	1,00
	Sobre	15	0,50
Todo otro tipo	Toda la potencia		1,00

#### Factores de Demanda para Cálculo de Alimentadores de Alumbrado

- 7.2.1.2.- El conductor neutro de un alimentador se dimensionará según el siguiente criterio:
  - a) El neutro de alimentadores monofásicos tendrá la misma sección del conductor de fase.
  - b) El neutro de alimentadores trifásicos que sirvan Cargas Lineales tales como alumbrado incandescente, calefacción y fuerza, se dimensionará de modo tal que su sección sea a lo menos igual al 50% de la sección de las fases.
  - c) El neutro de alimentadores trifásicos o de circuitos trifásicos que sirvan cargas no lineales, tales como rectificadores, reguladores de velocidad, etc., se dimensionará de modo tal que su sección sea a lo menos igual a la sección de los conductores de fases

## PROTECCIONES Y COMANDOS

### 12.3.1.- Protecciones de sobrecarga

- 12.3.1.1.- Los conductores de circuito, los motores y los aparatos de control de motores deben protegerse de sobrecalentamientos debidos a sobrecargas, originadas durante la marcha del motor o provocadas por fallas en la partida. La protección de sobrecarga no protegerá contra cortocircuitos o fallas a tierra.
- 12.3.1.2.- Todo motor de régimen permanente cuya potencia sea superior a 1 HP deberá protegerse, contra las sobrecargas, mediante un dispositivo de protección que responda a la corriente del motor. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulada a no más de 1,25 veces la corriente nominal del motor

si se trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 o, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.

NA.- El factor de servicio es un coeficiente usado en los motores fabricados de acuerdo a Normas Norteamericanas y señala la sobrecarga permanente que el motor tolera. Usualmente se lo identifica en placa por las letras F.S. o S.F.

- 12.3.1.3.- En caso que a través del protector no circule toda la corriente de carga del motor, como por ejemplo, si el protector queda incorporado a la conexión triángulo de los enrollados, el protector deberá regularse o tener una capacidad nominal de acuerdo a la corriente que por él circule, cumpliendo respecto de esta corriente las condiciones establecidas en 12.3.1.2.
- 12.3.1.4.- Todo motor de régimen permanente de potencia nominal inferior a 1 HP y partida manual que tenga su comando al alcance de la vista, se considerará suficientemente protegido por las protecciones de cortocircuito y de falla a tierra del circuito, siempre que éstas cumplan con lo indicado en 12.3.2.
- 12.3.1.5.- Los motores de régimen permanente de potencia inferior a 1 HP y partida automática se deberán proteger contra la sobrecarga en la forma indicada en 12.3.1.2 o 12.3.1.3.
- 12.3.1.6.- No obstante lo indicado en 12.3.1.5, se considerará a este tipo de motores suficientemente protegido contra la sobrecarga y no necesitarán de protector si forman parte de un equipo que normalmente no está sujeto a sobrecargas, o el equipo cuenta con otros dispositivos de seguridad que eviten la sobrecarga. En estos casos, el equipo deberá tener una placa que indique que cuenta con dichos dispositivos de protección.
- 12.3.1.7.- En los motores de varias velocidades, cada conexión de enrollados, se considerará en forma independiente para los efectos de dimensionar las protecciones.
- 12.3.1.8.- Los motores usados en condiciones de régimen de breve duración, intermitente o periódico, se considerarán protegidos contra la sobrecarga por las protecciones de cortocircuito y de falla a tierra, siempre que estas cumplan lo establecido en 12.3.2. Se considerará como régimen permanente a todo motor, salvo que por las condiciones de uso o de proceso sea imposible que pueda trabajar en forma permanente.

N.A.- El dispositivo usual de protección contra sobrecargas es el protector térmico.

- 12.3.1.9.- En el caso de motores comandados en forma manual, aún mediante contactor y botoneras, si el protector seleccionado para el motor no permite la partida de éste, se podrá puentear el protector durante la partida siempre que el dispositivo empleado para puentearlo sea de un tipo tal que no permanezca en dicha posición y las protecciones de cortocircuito estén dimensionadas de acuerdo a 12.3.2.2 y no queden puenteadas durante la partida.
- No se aceptará esta solución para motores de partida automática.

- 13.3.1.10.- Se deberá colocar un elemento protector de sobrecarga en cada conductor activo de la alimentación al motor.
- Los dispositivos protectores de sobrecarga al operar, deberán interrumpir la circulación de corriente en el motor.

### **12.3.2.- Protecciones de cortocircuito**

- 12.3.2.1.- Todo motor deberá contar con una protección de cortocircuito. Esta protección se dimensionará de modo tal que sea capaz de soportar sin operar, la corriente de partida del motor.
- 12.3.2.2.- La capacidad nominal de las protecciones de cortocircuito de un motor se dimensionará comparando la característica de la corriente de partida y el correspondiente valor durante el período de aceleración del motor o máquina, si es que el motor parte acoplado a su carga, con la curva de respuesta de la protección seleccionada de modo que ésta no opere bajo condiciones normales de partida.
- 12.3.2.3.- En los casos en que el fabricante de un equipo indique valores máximos para los dispositivos de protección de éste, o bien sobre los motores del equipo se indiquen dichos valores máximos, éstos no deberán sobrepasarse aun cuando de acuerdo al párrafo precedente sea permisible un valor superior.
- 12.3.2.4.- Un grupo de motores de potencia individual no superior a 1 HP podrá tener una protección de cortocircuito única si se cumplen las condiciones siguientes:
  - La protección no podrá tener una capacidad nominal superior a 15 A.
  - La corriente nominal de cada motor no deberá exceder 8 A.
  - Se cumpla 12.3.2.4, si procede.
  - Las protecciones individuales de sobrecarga deben cumplir 12.3.1.
- 12.3.4.5.- Se aceptará que las protecciones de cortocircuito, de falla a tierra y de sobrecarga en marcha estén combinadas en un único dispositivo, en donde la capacidad nominal o la regulación de ésta proporcione protección de sobrecarga en marcha de acuerdo a las condiciones exigidas en 12.3.1.
- 12.3.2.6.- Las protecciones de circuitos de motores deberán tener dispositivos de protección que actúen sobre todos los conductores activos.
- 12.3.2.7.- Para máquinas de varios motores o en que existan consumos combinados se aceptará una única protección de cortocircuito, cuya capacidad nominal no deberá exceder el valor señalado en la placa de la máquina.

### 12.3.3.- Partidores e interruptores

- 12.3.3.1.- Los motores podrán tener sistemas de partida directa o con tensión reducida. Se entenderá por partida directa a aquella en que en el instante de partida se aplica a los bobinados del motor, conectados en su conexión normal de funcionamiento, la tensión de la red; y por partida con tensión reducida a aquella en que mediante algún dispositivo adicional se aplica a los bobinados una tensión inferior a la de la red o se altera transitoriamente su conexión normal de funcionamiento.
- 12.3.3.2.- Las empresas eléctricas de distribución fijarán en sus respectivas zonas la potencia máxima de los motores, alimentados desde empalmes en baja tensión, que podrán tener partida directa, de modo de lograr que la corriente de partida no produzca perturbaciones en el funcionamiento de instalaciones vecinas.
- 12.3.3.3.- Para instalaciones conectadas a empalmes en media tensión, el instalador a cargo del proyecto o el montaje de la instalación deberá determinar la máxima potencia del motor que pueda tener partida directa, en función a la capacidad nominal y otras características del transformador que las alimente, considerando que la partida directa del motor no debe provocar perturbaciones en el resto de la instalación, en particular, no debe provocar problemas de parpadeo en los circuitos de alumbrado ni perturbaciones en los circuitos de procesamiento automático de datos.

N.A. Pese a tener más de cuarenta años de vigencia y haberse superado todas las condiciones técnicas que sirvieron de sustento a la disposición normativa que fija en 3 KW la potencia máxima permitida para partida directa de motores en instalaciones con empalmes en B.T., las Empresas Eléctricas no han actualizado esta disposición. En general dicha potencia podrá aumentarse respetando siempre el principio de no provocar perturbaciones en otras instalaciones o servicios.

- 12.3.3.4.- Los motores fijos de potencias inferiores a 100 W de funcionamiento permanente y de alta impedancia, tales como motores de reloj, no necesitan de un partidor y podrán ser conectados desde la protección del circuito o mediante un enchufe.

N.A. Se entenderá por partidor a un dispositivo de comando que permite hacer partir o detener un motor; la partida podrá ser directa o a tensión reducida. Eventualmente el partidor puede tener incluidas las protecciones de sobrecargas.

- 12.3.3.5.- Los motores portátiles de 200 W o menos no necesitan un partidor y podrán ser comandados mediante sus enchufes.
- 12.3.3.6.- Los partidores podrán hacer partir o detener el motor y deberán tener una capacidad de ruptura suficiente como para abrir la corriente de rotor trabado.
- 12.3.3.7.- Cada motor deberá tener su partidor individual. Este podrá ser un actuador de "partida y parada", un actuador estrella - triángulo, un autotransformador, un reóstato u otro aparato similar.

- 12.3.3.8.- Todo motor deberá tener un interruptor que permita desconectar del circuito al motor y a su partidor.
- 12.3.3.9.- El interruptor deberá ubicarse en un punto en que quede con vista al partidor del motor y deberá ser fácilmente accesible.
- 12.3.3.10.- Para motores de partida directa el interruptor puede ser empleado como partidor, siempre que esté ubicado con vista al motor.
- 12.3.3.11.- El interruptor que desconecta al motor del circuito deberá interrumpir todos los conductores activos de la alimentación.
- 12.3.3.12.- Cuando la instalación consista en un único motor podrá usarse como interruptor de desconexión, el del tablero de distribución, siempre que éste esté ubicado con vista al motor.

#### **12.3.4.- Circuitos de control de motores**

- 12.3.4.1.- Se entenderá por circuito de control de motores aquel circuito que lleva señales eléctricas de mando para el motor o conjunto de motores pero a través del cual no circula la corriente de alimentación
- 12.3.4.2.- Los conductores y elementos del circuito de control que estén contenidos dentro de la caja del partidor o del equipo, se consideraran protegidos por las protecciones del motor.
- 12.3.4.3.- Los conductores y elementos de control pertenecientes a un circuito montado fuera de la caja del equipo o partidor, deberán protegerse con protecciones de cortocircuito cuya capacidad se fijará de acuerdo a la capacidad de transporte de corriente de los conductores o la potencia de consumo de dichos elementos.
- 12.3.4.4.- No obstante lo indicado en 12.3.4.3 se podrá prescindir de la protección separada del circuito de control, donde la capacidad nominal o la regulación de las protecciones del motor no excedan en dos veces la capacidad de transporte de corriente de los conductores de control o en donde una apertura del circuito de control pueda crear riesgos superiores como en el caso de una bomba de incendio u otros similares.
- 12.3.4.5.- No será exigencia que los circuitos de control estén conectados a la tierra de servicio. Sin embargo, donde esta conexión sea necesaria, el circuito se dispondrá de tal manera que una conexión accidental a tierra no haga partir el o los motores controlados.
- 12.3.4.6.- Los circuitos de control se canalizarán mediante alguno de los métodos prescritos en la sección No 8, según el ambiente y condiciones de montaje en cada caso.
- 12.3.4.7.- Los circuitos de control deben contar con un interruptor que los separe de su fuente de alimentación. En donde se usa, además de la alimentación principal, una fuente independiente para alimentación exclusiva del circuito de control, dicho interruptor deberá abrir ambas fuentes,

simultáneamente, o se colocarán juntos dos interruptores para abrir cada alimentación.

- 12.3.4.8.- Si se usa un transformador para obtener tensión reducida para los circuitos de control, este transformador deberá ser desconectado de la alimentación por el interruptor indicado en 12.3.4.7.

## **NFPA 70E**

### **Norma para los Requisitos de Seguridad Eléctrica de los Empleados en los Lugares de Trabajo**

#### **Parte II PRÁCTICAS DE TRABAJO RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD**

##### **Capítulo 1 General**

###### **Alcance**

La Parte II comprende las prácticas y los procedimientos de trabajo relacionados con la seguridad eléctrica para los empleados quienes trabajan en o cerca de conductores eléctricos o partes de circuitos energizados expuestos en los lugares de trabajo que están incluidos en el alcance de esta norma. Los circuitos y los equipos eléctricos no incluidos en el alcance de esta norma pueden presentar un peligro a los empleados no calificados cuando trabajen cerca de estas instalaciones. En la Parte II, se han incluido exigencias para proteger de esos peligros a los empleados no calificados.

###### **1.2 Propósito**

Estas prácticas y procedimientos tienen la intención de darle al empleado seguridad relacionada con los peligros eléctricos en el sitio de trabajo.

###### **1.3 Responsabilidad**

Las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad, contenidas en la Parte II, deberán ser implementadas por los empleados. El empleador deberá proveer las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad. Él también deberá entrenar al empleado quien después las deberá implementar.

###### **1.4 Organización**

La Parte II de esta norma está dividida en cinco capítulos. El Capítulo 1 se aplica al entrenamiento y calificación de los empleados. El Capítulo 2 incluye detalles de límites de aproximación a partes energizadas y contiene prácticas de trabajo específicas. El Capítulo 3 se aplica a la especificación y mantenimiento de equipos de protección personal y otros equipos. El Capítulo 4 comprende el uso de equipos relacionados con la seguridad y de prácticas de trabajos específicos. El Capítulo 5 comprende las exigencias generales para el procedimiento candado/etiqueta.

## **1-5 Exigencias de entrenamiento.**

### **1-5.1 Entrenamiento de Seguridad**

- Las exigencias de entrenamiento contenidas en esta sección se aplicaran a los empleados que enfrentan un riesgo de peligro eléctrico que no está reducido a un nivel seguro por las exigencias de instalación eléctrica de la Parte I. Esos empleados deberán recibir entrenamiento para entender los peligros asociados específicamente con la energía eléctrica. Ellos deberán recibir entrenamiento sobre las exigencias de prácticas y procedimientos de trabajo relacionados con la seguridad que sean necesarios para dar protección contra los peligros eléctricos asociados con sus respectivos trabajos y tareas asignadas. Los empleados deberán recibir entrenamiento para identificar y entender la relación entre los peligros eléctricos y posibles heridas.

### **1-5.2 Tipo de entrenamiento**

- El entrenamiento exigido por esta sección deberá llevarse a cabo en el salón de clase o en el sitio de trabajo o, en una combinación de los dos. El grado de entrenamiento que se imparta se deberá determinar por el riesgo del empleado.

### **1-5.3 Procedimientos de emergencia**

- Los empleados que trabajan sobre o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos energizados expuestos, deberán recibir entrenamiento sobre los métodos para liberar a las víctimas del contacto con conductores o partes de circuitos energizados expuestos. Ellos regularmente deberán ser instruidos en métodos de primeros auxilios y procedimientos de emergencia tales como los métodos de resucitación aprobados, si sus responsabilidades ameritan ese entrenamiento.

## **1-5.4 Entrenamiento del empleado.**

### **1-5.4.1 Personas calificadas**

- Una persona calificada deberá recibir entrenamiento para llegar a ser conocedora de la construcción y operación de equipos o un método de trabajo específico y recibir entrenamiento para reconocer y evitar los peligros eléctricos que se puedan presentar con respecto a ese equipo o método de trabajo. Esas personas también deberán estar familiarizadas con: el uso apropiado de técnicas de prevención especiales, equipos personales de protección, materiales aislantes y de blindaje, y herramientas y equipo de ensayo aislados. Una persona puede ser considerada calificada con respecto a ciertos equipos y métodos y sin embargo todavía no ser calificada para otros. Esas personas a quienes se les permite trabajar dentro de aproximación limitada a conductores y partes de circuitos energizados expuestos, como mínimo, deberán recibir entrenamiento en todo lo siguiente:

- a) Las destrezas y técnicas necesarias para distinguir entre partes energizadas expuestas y otras partes de equipos eléctricos
- b) Las destrezas y técnicas necesarias para determinar la tensión nominal de partes energizadas expuestas
- c) Las distancias de aproximación de la Tabla 2-1.3.4 de la Parte II y las tensiones correspondientes a las que el personal calificado estará expuesto.
- d) El procedimiento de toma de decisiones necesario para determinar el grado y alcance del peligro, el equipo de protección personal y el necesario planeamiento del trabajo para realizar la tarea de manera segura.

## **NOTA**

Un empleado que está recibiendo entrenamiento en el trabajo y quien, en el curso de ese entrenamiento, ha demostrado la habilidad para desempeñar responsabilidades de manera segura en su nivel de entrenamiento y quien se encuentra bajo la directa supervisión de una persona calificada, se podrá considerar como una persona calificada para el desempeño de esas responsabilidades.

### **1-5.4.2 Personas no calificadas.**

#### **1-5.4.2.1**

- Las personas no calificadas deberán recibir entrenamiento en y estar familiarizadas con cualquiera de las prácticas relacionadas con la seguridad eléctrica que puedan no estar comprendidas específicamente dentro de la Parte II, pero que son necesarias para la seguridad de ellas.

## **Capítulo 2 Exigencias generales para la ejecución de trabajos eléctricos**

### **2-1 Trabajo en o cerca de conductores y partes de circuitos eléctricos.**

#### **2-1.1 General**

- Las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad se deberán utilizar para salvaguardar a los empleados de recibir heridas mientras que estén trabajando en o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos expuestos, que están o puedan llegar a estar energizados. La específica práctica de trabajo relacionada con la seguridad será consistente con la naturaleza y extensión de los peligros eléctricos asociados.

##### **2-1.1.1**

- Las partes energizadas a las cuales el empleado puede estar expuesto se deberán poner en una condición de trabajo eléctricamente segura, antes de que el empleado trabaje en o cerca de ellas, a menos que el empleador pueda demostrar que al desenergizar se introducen peligros adicionales o mayores o no es factible debido a las limitaciones de diseño u operacionales, de los equipos. No se exige que las partes energizadas que operan a menos de 50 voltios a tierra estén desenergizadas, si no habrá mayor exposición a quemaduras eléctricas o a explosión debido a arcos eléctricos.

## NOTA 1

Ejemplos de peligros mayores o adicionales, incluyen pero no están limitados a: interrupción de equipos para mantenimiento de la vida, desactivación de sistemas de alarmas de emergencia, no funcionamiento de los equipos de ventilación de lugares peligrosos o la remoción de la iluminación de un área.

## NOTA 2

Ejemplos de trabajo que puede ser realizado en o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos energizados expuestos debido a la no factibilidad ocasionada por las limitaciones de diseño u operacionales de los equipos, incluyen la realización de diagnósticos y pruebas (por ejemplo arranque o solución de problemas) de circuitos eléctricos que solo pueden ser realizados con el circuito energizado y, trabajo en circuitos que forman parte integral de un proceso continuo que de otra manera necesitaría estar completamente interrumpido para permitir trabajar en un circuito o la parte de un equipo.

### 2-1.1.2

- Sólo se permitirá que las personas calificadas trabajen en los conductores o parte de circuitos eléctricos que han sido puestos en una condición de trabajo eléctricamente segura.

### 2-1.1.3

- Se habrá logrado una condición de trabajo eléctrica- mente segura cuando se realice de acuerdo con el procedimientos de 2-1.2 de la Parte II y se verifiquen mediante el siguiente procedimiento:
  - a) Determinar todas las posibles fuentes de alimentación eléctrica al equipo específico. Consultar los planos, diagramas, etiquetas de identificación, aplicables y actualizadas.
  - b) Después de interrumpir de manera apropiada la corriente de carga, abrir el o los dispositivos de desconexión de cada fuente.
  - c) Cuando sea posible, verificar visualmente que todas las cuchillas de los dispositivos de conexión estén completamente abiertas y que los interruptores automáticos tipo extraíble estén extraídos a la posición completamente desconectada.
  - d) Instalar dispositivos candado/etiqueta de acuerdo con la política documentada y establecida.
  - e) Utilizar un detector de tensión con los valores nomina- les adecuados para probar cada conductor de fase o parte de circuito, para verificar que ellos se encuentran desenergizados. Antes y después de cada prueba, determinar que el detector de tensión esté operando satisfactoriamente.
  - f) Cuando exista la posibilidad de tensiones inducidas o de energía eléctrica almacenada, poner a tierra los conductores de fase o las partes de circuitos antes de tocarlos. Cuando razonablemente se pueda anticipar que los conductores o partes de circuitos que se están desenergizando puedan entran

en contacto con otros conductores o partes de circuitos energizados expuestos, instalar dispositivos de conexión a tierra con valores nominales para la falla que se pueda presentar.

### **2-1.2 Trabajo en o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos desenergizados, a los que se les han instalado dispositivos candado/etiqueta**

- Cada empleador deberá: identificar, documentar, e implementar procedimientos candado/ etiqueta que cumplan con el Capítulo 5 para salvaguardar a los empleados de la exposición a peligros eléctricos mientras que ellos están trabajando en o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos desenergizados que tienen la probabilidad de ocasionar heridas debidas a contacto inadvertido o accidental o a la falla de equipos. Los procedimientos candado/etiqueta deberán ser apropiados para la experiencia y entrenamiento de los empleados y para las condiciones existentes en el lugar de trabajo.

### **2-1.3 Trabajo en o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos expuestos que están o pueden llegar a estar energizados.**

#### **2-1.3.1**

- Cuando se trabaje en partes energizadas a las que no se les han instalado dispositivos candado/etiqueta de acuerdo con 2-1.1.3 y el Capítulo 5 de la Parte II, se aplicarán al trabajo 2-1.3.2 hasta 2-1.3.5 de la Parte II.

#### **2-1.3.2**

- Si las partes energizadas no se encuentran en condiciones de trabajo eléctricamente seguras, se utilizarán otras prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad, para proteger a los empleados que puedan estar expuestos a los peligros eléctricos inherentes. Esas prácticas de trabajo deberán proteger a todos los empleados contra relámpago de arco y contra el contacto directo con partes energizadas con cualquier parte del cuerpo o indirectamente a través de algún otro objeto conductivo. Las prácticas de trabajo que se utilizan deberán ser adecuadas para las condiciones bajo las cuales se va a desarrollar el trabajo y para el nivel de tensión de las partes energizadas.

#### **2-1.3.3. Análisis del peligro de relámpago.**

- El análisis de peligro de relámpago se deberá hacer antes de que una persona se acerque a cualquier conductor o parte de circuito eléctrico que no se haya puesto en una condición de trabajo eléctricamente segura.

## General.

En ciertos casos, la frontera de protección contra relámpago puede ser una distancia mayor que la frontera de aproximación limitada y la mayor distancia deberá utilizarse para determinar la necesidad de equipo de protección personal.

### 2-1.3.3.2 Frontera de protección contra relámpago.

- Para los sistemas con tensión nominal de 600 voltios o menos, la frontera de protección contra relámpago será 4.0 pies, obtenida del producto del tiempo de limpieza de falla, 6 ciclos (0.1 segundo), por, la posible corriente de falla sólida de 50 kA o cualquier combinación que no exceda 300 kA ciclos (5,000 amperios segundo). Para tiempos de limpieza y corrientes de fallas sólidas diferentes de 300 kA ciclos, o bajo supervisión de ingeniería, alternativamente se permitirá que la frontera de protección contra relámpago se calcule de acuerdo con la siguiente formula general:

$$D_c = [2.65 \times MVA_{bf} \times t]^{1/2}$$

o

$$D_c = [53 \times MVA \times t]^{1/2}$$

donde:

- Dc = distancia en pies, entre la persona y una fuente de arco, para una quemadura curable
- MVA<sub>bf</sub> = MVA de falla sólida en el punto en consideración
- MVA = MVA nominal del transformador. Para transformadores con MVA nominales por debajo de 0.75 MVA, multiplique los MVA nominales del transformador por 1.25
- t = tiempo de exposición al arco, en segundos

A niveles de tensión por encima de 600 voltios, la frontera de protección contra relámpago es la distancia a la cual el nivel de energía incidente es igual a 1.2 cal/cm<sup>2</sup>. Para la situación en las que el tiempo de limpieza de la falla es 0.1 segundo (o más rápido), la frontera de protección contra relámpago es la distancia a la cual el nivel de la energía incidente es igual a 1.5 cal/cm<sup>2</sup>.

### 2-1.3.3.3.

- Ropa de protección y equipo de protección personal para la aplicación con el análisis **de peligro de relámpago**.
- Cuando se haya determinado que el trabajo se realizará dentro de la frontera de protección del relámpago de acuerdo a 2-1.3.3.2 de la Parte II, el análisis de peligro de relámpago determinará - y el empleador documentará la exposición

del trabajador a la energía incidente (en calorías por centímetro cuadrado). Este nivel de exposición a la energía incidente se debe fundamentar en la distancia de trabajo entre las áreas de la cara y el pecho del trabajador y la fuente de arco potencial para la tarea específica que se va a realizar. El empleado deberá vestir ropa resistente a la llama (FR) y equipo de protección personal (EPP) fundamentado en la exposición a la energía incidente asociada con la tarea específica. Como una alternativa, se permitirá utilizar las exigencias de EPP de 3-3.9 de la Parte II en lugar del detallado método de análisis de peligro de relámpago descrito en 2-1.3.3.2 de la Parte II.

## **NOTA**

Para información sobre cómo calcular la exposición a la energía incidente en sistemas de 600 voltios, se puede consultar el Apéndice B-5 de la Parte II.

### **2-1.3.4**

- Fronteras de aproximación apartes energizadas. Ninguna persona calificada se acercará o tomará algún objeto conductivo a una distancia menor a partes energizadas que la frontera de aproximación restringida establecida en la Tabla 2-1.3.4 de la Parte II, a menos que:
  - a. La persona calificada este aislada o resguardada de las partes energizadas (sólo se considera que los guantes aislantes o los guantes y las mangas aislantes, son aislantes con respecto a las partes energizadas sobre las cuales se está realizando el trabajo) y ninguna parte no aislada del cuerpo de la persona calificada entre en el espacio prohibido fijado en la Tabla 2- 1.3.4 de la Parte II, o
  - b. La parte energizada esté aislada de la persona calificada y de cualquier otro objeto conductivo que esté a un potencial diferente, o
  - c. La persona calificada esté aislada de cualquier otro objeto conductivo durante el trabajo de línea viva con mano desnuda.

### **2-1.3.5. Personas no calificadas.**

#### **2-1.3.5.1**

- A las personas no calificadas no se les permitirá entrar en los espacios exigidos en 1-8.2 o la Sección 1-9 de la Parte I accesibles sólo a empleados calificados, a menos que los conductores y equipos eléctricos relacionados estén en una condición de trabajo eléctricamente segura.

### **2-1.3.5.2**

- Cuando una persona o personas no calificadas están trabajando en o cerca de la frontera límite de aproximación, la persona designada como responsable del espacio de trabajo donde existe el peligro eléctrico cooperará con la persona designada como responsable de la persona o personas no calificadas, para garantizar que todo el trabajo se puede hacer con seguridad. Esto incluirá el hacer conocer a la persona o personas no calificadas sobre los peligros eléctricos y advertirles para que se mantengan fuera de la frontera límite de acercamiento.

## **2-2 Trabajo en o cerca de líneas aéreas no aisladas.**

### **2-2.1. No aisladas y energizadas**

- Cuando el trabajo se realiza en lugares donde existen líneas aéreas energizadas no aisladas que no están resguardadas o independientes, se tomarán precauciones para impedir que los empleados entren en contacto con esas líneas directamente con cualesquiera partes no resguardadas de su cuerpo o indirectamente a través de: materiales conductivos, herramientas, o equipos. Cuando el trabajo que se va a realizar es tal que el contacto con líneas aéreas energizadas no aisladas es posible, las líneas deberán estar desenergizadas y puestas a tierra de manera visible en el punto de trabajo o resguardadas adecuadamente.

**Tabla 2-1.3.4 Límites de aproximación a partes energizadas para protección contra choque.**  
(Todas las dimensiones son la distancia entre la parte energizada y el empleado)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Rango de la tensión nominal del sistema, fase	Frontera límite de aproximación <sup>1</sup>		Frontera de aproximación restringida <sup>1</sup> ; Incluye movimiento involuntario	Frontera de aproximación prohibida <sup>1</sup>
	Conductor expuesto móvil	Parte de circuito fija expuesta		
0 to 50	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado
51 to 300	10 pies 0 pulgada.	3 pies 6 pulgada	Evitar el contacto	Evitar el contacto
301 to 750	10 pies 0 pulgada	3 pies 6 pulgada	1 pies 0 pulgada	0 pies 1 pulgada
751 to 15 kV	10 pies 0 pulgada	5 pies 0 pulgada	2 pies 2 pulgada	0 pies 7 pulgada
15.1 kV to 36 kV	10 pies 0 pulgada	6 pies 0 pulgada	2 pies 7 pulgada	0 pies 10 pulgada
36.1 kV to 46 kV	10 pies 0 pulgada	8 pies 0 pulgada	2 pies 9 pulgada	1 pies 5 pulgada
46.1 kV to 72.5 kV	10 pies 0 pulgada	8 pies 0 pulgada	3 pies 3 pulgada	2 pies 1 pulgada
72.6 kV to 121 kV	10 pies 8 pulgada	8 pies 0 pulgada	3 pies 2 pulgada	2 pies 8 pulgada
138 kV to 145 kV	11 pies 0 pulgada	10 pies 0 pulgada	3 pies 7 pulgada	3 pies 1 pulgada
161 kV to 169 kV	11 pies 8 pulgada	11 pies 8 pulgada	4 pies 0 pulgada	3 pies 6 pulgada
230 kV to 242 kV	13 pies 0 pulgada	13 pies 0 pulgada	5 pies 3 pulgada	4 pies 9 pulgada
345 kV to 362 kV	15 pies 4 pulgada	15 pies 4 pulgada	8 pies 6 pulgada	8 pies 0 pulgada
500 kV to 550 kV	19 pies 0 pulgada	19 pies 0 pulgada	11 pies 3 pulgada	10 pies 9 pulgada
765 kV to 800 kV	23 pies 9 pulgada	23 pies 9 pulgada	14 pies 11 pulgada	14 pies 5 pulgada

Notas:

Para unidades SI: 1 in. = 25.4 mm; 1 ft = 0.3048 m.

Para la frontera de protección contra arco, consultar 2-1.3.3.2.

1. Consultar las definiciones en la introducción, el texto en 2-1.3.5 y en el Apéndice A de la Parte II para elaboración.

### **Límites de aproximación a partes energizadas para protección contra choque**

### **2-2.2. Desenergización o resguardo.**

- Si las líneas van a estar desenergizadas, se deberá convenir con la persona u organización que opera o controla las líneas para que las desenergice y las ponga a tierra de manera visible en el punto de trabajo. Si se hacen acuerdos para utilizar medidas de protección tales como: resguardar, separar o aislar, estas precauciones deberán impedir que cualquier empleado entre en contacto con esas líneas directamente con cualquier parte de su cuerpo o indirectamente a través de: materiales conductivos, herramientas o equipos.

### **2-2.3. Responsabilidad del empleador y del empleado.**

- El empleador y el empleado tendrán la responsabilidad de garantizar que los resguardos o las medidas de protección son satisfactorios para las condiciones. Los empleados deberán cumplir con los métodos de trabajo establecidos y deberán usar equipo de protección.

### **2-2.4. Distancias de aproximación para personas no calificadas.**

- Cuando empleados sin entrenamiento eléctrico están trabajando sobre el suelo o en una posición elevada cerca de líneas aéreas, el lugar debe ser tal que el empleado y el objeto conductivo más largo con que el empleado pueda entrar en contacto no pueda estar más cerca de cualquier línea de potencia aérea energizada no resguardada, que la frontera límite de aproximación. Si la tensión en la línea es superior a 50 kV, la distancia será 10 pies, más 4 pulgadas, por cada 10 kV por encima de 50 kV.

#### **NOTA**

Los objetos que no están aislados para la máxima tensión correspondiente se considerarán que son conductivos.

## **2-3 Programa de seguridad eléctrica.**

### **2-3.1 General**

- El empleador deberá implementar un programa general de seguridad eléctrica que ordene la actividad apropiada para: la tensión, nivel de energía y condiciones del circuito.

#### **NOTA**

Las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad son sólo un componente de un programa general de seguridad eléctrica.

#### **2-3.1.1. Conocimiento y auto disciplina.**

- El programa de seguridad eléctrica se deberá diseñar para proveer el conocimiento de los potenciales peligros a los empleados quienes pueden de vez en cuando trabajar en un ambiente afectado por la presencia de energía eléctrica. El programa deberá desarrollarse para proveerle a los empleados la auto disciplina requerida a quienes ocasionalmente deben realizar trabajo en o cerca de conductores y partes de circuitos eléctricos energizados expuestos. El programa deberá inculcar principios y controles de seguridad.

#### **2-3.1.2. Principios del programa de seguridad eléctrica.**

- El programa de seguridad eléctrica deberá identificar los principios sobre los cuales se basa.

##### **NOTA**

Para ejemplos de principios de típicos programas de seguridad eléctrica, consulte el Apéndice C de la Parte III.

#### **2-3.1.3. Controles del programa de seguridad eléctrica.**

El programa de seguridad eléctrica deberá identificar los controles con los que se mide y monitorea.

##### **NOTA**

Para ejemplos típicos, de controles del programa de seguridad eléctrica, consulte el Apéndice C de la Parte II.

#### **2-3.1.4. Procedimientos del programa de seguridad eléctrica.**

El programa de seguridad eléctrica deberá identificar los procedimientos para trabajar en o cerca de partes energizadas antes de que comience el trabajo.

##### **NOTA**

Para un ejemplo, de un típico procedimiento del programa de seguridad eléctrica, consultar el Apéndice C de la Parte II.

#### **2-3.1.5. Procedimiento de evaluación peligro/riesgo**

El programa de seguridad eléctrica deberá identificar el procedimiento que se usará para la evaluación de peligro/riesgo, antes de que comience el trabajo en o cerca de partes energizadas.

##### **NOTA**

Para un ejemplo de un procedimiento de riesgo de peligro, consulte el Apéndice D de la Parte II.

### **2-3.1.6. Instructivo del trabajo**

Antes de comenzar cada trabajo, el empleado responsable deberá realizar un instructivo del trabajo (resumen del trabajo) con los empleados que participaran. El instructivo contendrá temas como: los peligros asociados con el trabajo, los procedimientos de trabajo relacionados, precauciones especiales, controles de la fuente de energía, y exigencias de equipo de protección personal.

Si el trabajo y las operaciones que se van a desarrollar durante el día de trabajo, cambian o son repetitivas y similares, por lo menos se realizara un instructivo del trabajo antes de comenzar el primer trabajo del día o turno. Se mantendrán instructivos de trabajo adicionales si durante el curso del trabajo ocurren cambios significativos que puedan afectar la seguridad de los empleados.

Será satisfactoria una corta discusión, si el trabajo respectivo es de rutina y si razonablemente se puede esperar que el empleado, por virtud del entrenamiento y la experiencia, reconozca y evite los peligros inherentes al trabajo. Se realizará una discusión más extensa, si:

- a. El trabajo es complicado o particularmente peligroso.
- b. No se puede esperar que el empleado reconozca y evite los peligros propios del trabajo.

### **2-3.2. Condición de alerta.**

#### **2-3.2.1**

Los empleados se deberán instruir para que en todo momento estén alerta cuando están trabajando cerca de partes energizadas y en situaciones de trabajo donde puedan existir peligros eléctricos no esperados.

#### **2-3.2.2**

A los empleados no se les permitirá que a sabiendas trabajen en áreas donde se encuentran partes energizadas u otros peligros eléctricos, mientras que su condición de alerta esté reconociblemente afectada debido a: enfermedad, fatiga u otras razones.

### **Iluminación.**

#### **2-3.4.1**

Los empleados no deben entrar en espacios donde haya partes energizadas, a menos que se provea iluminación que les permita a los empleados realizar el trabajo con seguridad.

#### **2-3.4.2**

Cuando la falta de iluminación o una obstrucción impida la observación del trabajo que se va a realizar, los empleados no deberán realizar ninguna tarea cerca de partes vivas.

#### **2-3.5. Elementos conductivos que se llevan vestidos.**

No se deberán vestir artículos conductivos de joyería y ropas (tales como: manillas de reloj, brazaletes, anillos, cadenas, collares, delantales metalizados, ropa con hilos conductivos, cascos metálicos, marcos metálicos de gafas sueltos), no se deberán llevar puestos cuando ellos puedan estar en peligro de contacto eléctrico con partes energizadas, a menos que esos elementos se hayan vuelto no conductivos al: cubrirlos, envolverlos, u otros medios aislantes.

#### **2-3.6. Materiales conductivos, herramientas y equipos que se manipulan.**

##### **2-3.6.1**

Los materiales conductivos, herramientas y equipos, que están en contacto con cualquier parte del cuerpo de un empleado, se manipularán de tal manera que se evite el contacto accidental con partes energizadas. Esos materiales y equipos incluyen pero no están limitados a objetos conductivos largos, tales como: ductos, tuberías y tubos, mangueras y sogas conductivas, reglas y medidores metálicos, cintas de acero, sondas, partes metálicas de andamios, miembros estructurales y cadenas.

##### **2-3.6.2**

Se deberán emplear medios que garanticen que los materiales conductivos no se aproximan a las partes energizadas a menos de las distancias permitidas en la Tabla 2-1.3.4 de la Parte II.

#### **2-3.7. Herramientas y equipos aislados.**

Los empleados deberán utilizar herramientas y/o equipos de mano aislados cuando estén trabajando dentro de la frontera límite de aproximación de partes vivas, cuando las herramientas o el equipo de mano puedan hacer contacto accidental. Las herramientas aisladas se deberán proteger contra daño del material aislante.

#### **NOTA**

Consulte 2-1.3.4 de la Parte II para trabajo en partes energizadas.

### **2-3.7.1**

Los equipos para manipular fusibles o portafusibles, aislados para la tensión del circuito, se deberán utilizar para remover o instalar el fusible si los terminales del fusible están energizados.

### **2-3.7.2**

Las sogas utilizadas cerca de partes energizadas serán no conductivas.

### **2-3.8. Blindajes de protección**

Se utilizarán: blindajes de protección, barreras protectoras o materiales aislantes, para proteger a cada uno de los empleados contra: choque, quemaduras u otras heridas eléctricas relacionadas, mientras que el empleado este trabajando cerca de partes vivas con las que pueda tener contacto accidental o donde calor o arco eléctrico peligroso pueda ocurrir. Cuando se expongan partes energizadas normalmente encerradas, para mantenimiento o reparación, ellas deberán estar salvaguardadas para proteger a personas no calificadas contra el contacto con partes energizadas.

### **2-3.9. Escaleras portátiles**

Las escaleras portátiles tendrán parales laterales no conductivos si ellas se utilizan donde el empleado o la escalera pueden tener contacto con partes energizadas.

### **2-3.10. Espacios de trabajo confinados o encerrados**

Cuando un empleado trabaja en un espacio confinado o encerrado (tal como una cámara o una bóveda) donde hay partes energizadas, el empleador deberá proveer y el empleado deberá usar: blindajes de protección, barreras de protección o materiales aislantes, como sea necesario para evitar contacto involuntario con estas partes. Puertas, paneles con bisagras y similares, se deben fijar para evitar que giren contra un empleado y hagan que el empleado entre en contacto con partes energizadas.

### **Tareas de limpieza**

Cuando las partes energizadas presentan un peligro de contacto eléctrico, los empleados no realizarán tareas de limpieza dentro de la frontera límite de aproximación donde existe la posibilidad de contacto, a menos que se provean adecuadas salvaguardas (tales como equipos o barreras aislantes) para impedir el contacto. Materiales de limpieza eléctricamente conductivos (incluyendo sólidos conductivos tales como: lana de acero, telas metalizadas, silicona, así como soluciones líquidas conductivas) no se utilizarán dentro de la frontera límite

de aproximación, a menos que se sigan procedimientos para impedir el contacto eléctrico.

### **Modificación de la protección contra sobrecorriente**

No se deberá modificar la protección contra sobre corriente de los circuitos y conductores, ni aun temporalmente, más allá de lo permitido en 2-5.1 y 2-5.2 de la Parte I..

### **2-3.15. Anticipación a la falla**

Cuando es evidente que un equipo eléctrico puede fallar y herir a los empleados, el equipo eléctrico se deberá desenergizar a menos que el empleador pueda demostrar que la desenergización introduce peligros adicionales o mayores, o no es factible debido al diseño y limitación de operación del equipo. Hasta que el equipo se desenergice o repare, los empleados se deberán proteger de los peligros asociados con la inminente falla del equipo.

## **Capítulo 3**

### **Equipos de protección personal y otros equipos de protección**

#### **3-1 General**

A los empleados que trabajan en áreas donde hay peligros eléctricos, se les deberá proveer y deberán usar, equipo de protección que esté diseñado y construido para la parte específica del cuerpo que se va a proteger y para el trabajo que se va a realizar.

#### **NOTA**

Las exigencias del equipo de protección personal se encuentran en 3-3.8 y 3-4.11 de la Parte II.

#### **3-2 Cuidado del equipo.**

El equipo de protección se mantendrá en condiciones seguras y confiables. El equipo de protección personal se deberá inspeccionar visualmente antes de usarlo.

#### **NOTA 1**

Las exigencias específicas para las pruebas periódicas de los equipos de protección eléctrica están dadas en 3-3.8 y 3-4.11 de la Parte II.

#### **NOTA 2**

Las exigencias relacionadas con el uso de protectores de cuero sobre guantes de caucho aislante se dan en 3-3.8 y 3-3.9.5.3 de la Parte I.

### **3-3 Equipo de protección personal.**

#### **3-3.1 General.**

Cuando el empleado trabaja dentro de la frontera de protección contra relámpago él/ella deberán vestir ropa de protección y otros equipos de protección personal de acuerdo con 2-1.3.3.3 de la Parte II.

#### **3-3.2 Movilidad y visibilidad.**

Cuando se utilicen ropas: resistentes a la llama, retardantes de la llama o tratadas, para proteger al empleado, éstas deberán cubrir toda la ropa que sea incendiable y deberán permitir el movimiento y la visibilidad.

#### **3-3.3 Protección de: la cabeza, la cara, el cuello y el mentón**

Los empleados deberán vestir protección no conductiva en la cabeza, siempre que exista peligro de heridas en la cabeza causadas por choque eléctrico o quemaduras debidas al contacto con partes energizadas o por objetos que vuelen como resultado de una explosión eléctrica.

#### **3-3.4 Protección de los ojos.**

Los empleados deberán vestir equipo de protección para los ojos, siempre que exista peligro de heridas causadas por: arcos eléctricos, relámpagos o por objetos que vuelen como resultado de una explosión eléctrica.

#### **3-3.5 Protección de cuerpo.**

Los empleados deberán vestir ropas resistentes a la llama del relámpago siempre que exista la posibilidad de exposición a un relámpago de arco eléctrico.

#### **NOTA**

Esas ropas se pueden proveer, como camisa y pantalones, como sobretodos, una combinación de chaqueta y pantalones o, para máxima protección, como sobretodo y chaqueta. Se pueden conseguir telas variadas de pesos de 4 oz, 6 oz, o 10 oz. El mayor grado de protección se consigue con las telas más pesadas o mediante una combinación de capas de telas de fibra natural resistentes al relámpago de arco eléctrico.

### **3-3.6 Protección de las manos y los brazos.**

Los empleados deberán vestir guantes de caucho aislante cuando existe el peligro de heridas en las manos y en los brazos, causadas por choque eléctrico y quemaduras debidas al contacto con partes energizadas. La protección de las manos y los brazos se deberá vestir cuando haya posibilidad de exposición a quemadura de relámpago de arco. La protección de los brazos se deberá alcanzar mediante la vestimenta descrita en 3-3.5 de la Parte II.

### **3-3.7 Protección de los pies y de las piernas.**

Cuando se utilice calzado aislado como protección contra las tensiones de paso y de toque, se exigirán zapatones dieléctricos.

#### **NOTA**

Las suelas aisladas no tienen el propósito de ser utilizadas como protección eléctrica principal.

### **3-3.8 Normas para los equipos de protección personal.**

Los equipos de protección personal deberán ajustarse a las normas dadas en la Tabla 3-3.8.

### **3-3.9 Selección de los equipos de protección personal.**

#### **3-3.9.1 Equipos de protección personal exigido para diversas tareas.**

En la Tabla 3-3.9.1 de la Parte II se encuentra listado un número de tareas comunes de trabajo con la respectiva Categoría de Peligro/Riesgo asociada con cada tarea. Una vez que la Categoría Peligro/Riesgo ha sido identificada, se va a la Tabla 3-3.9.2 de la Parte II. Las asumidas capacidades de corriente de corto circuito “normales” y los tiempos de limpieza de falla para varias tareas realizadas en equipos de baja tensión (600 V y menos) se listan en las notas a la Tabla 3-3.9.1 de Parte II. Para tareas que no se encuentran en la lista o para sistemas de potencia de capacidades de corto circuito “normales” mayores que las asumidas y para tiempos de limpieza de fallas mayores que los asumidos (para los valores de las corrientes y tiempos, consulte las Notas a la Tabla 3-3.9.1 de la Parte II), se requiere un análisis de peligro de relámpago de acuerdo con 2-1.3.3 de la Parte II.

#### **NOTA**

A las partes energizadas que operan a menos de 50 voltios no se les exige que estén desenergizadas para cumplir con la “condición de trabajo eléctricamente seguro.” Se deben considerar: la capacidad de la fuente, cualquier protección de sobrecorriente entre la fuente de energía y el trabajador y si la tarea de trabajo relacionada con la fuente que opera a menos de 50 voltios aumenta la exposición a quemaduras eléctricas o a la explosión de un arco eléctrico.

### **3-3.9.2 Matriz de ropa de protección y de equipo de protección personal.**

Una vez que la Categoría Peligro/Riesgo ha sido identificada, se remite a la Tabla 3-3.9.2. La Tabla 3-3.9.2 lista las exigencias para la ropa de protección y de otros equipos de protección con base en los números de Categoría Peligro/Riesgo 0 a 4. Esta ropa y equipo se deberán utilizar cuando se trabaje en o cerca de equipos energizados dentro de la frontera de protección contra arco.

#### **NOTA 1**

Consulte el Apéndice de la Parte II para un método simplificado sugerido para garantizar EPP adecuado a los trabajadores eléctricos dentro de instalaciones con grandes y diversos sistemas eléctricos.

#### **NOTA 2**

Los requisitos del EPP de esta sección tienen el propósito de proteger a la persona de los peligros de relámpago de arco y choque. A pesar de que algunas situaciones pueden resultar en quemaduras en la piel, aún con la protección descrita en la Tabla 3-3.9.2, cualquier herida por quemadura deberá ser relativamente menor y no debe causar la muerte. Debido al efecto explosivo de algunos eventos de arco heridas de trauma físico pueden ocurrir. Las exigencias a los EPP de esta sección no proveen protección contra trauma físico.

## Normas de Equipos de Protección

**Tabla 3-3.9.1 Clasificación de las categorías peligro riesgo**

<b>Tarea (se asume que el equipo está energizado, y que el trabajo se realiza dentro de la frontera de protección contra arco)</b>	<b>Categoría Peligro/Riesgo</b>	<b>Guantes valor nominal</b>	<b>Herramientas valor nominal</b>
Paneles de distribución tensión nominal 240 V y menos - Notas 1 y 3	—	—	—
Operación de interruptores automáticos (IA) o conmutadores con fusibles con cubiertas instaladas	0	N	N
Operación de IA o conmutadores con fusibles con las cubiertas retiradas	0	N	N
Trabajo en partes energizadas, incluyendo prueba de tensión	1	Y	Y
Retiro/instalación de IAs o conmutadores con fusibles	1	Y	Y
Retiro de cubiertas atornilladas (para exponer partes desnudas energizadas)	1	N	N
Apertura de cubiertas con bisagras (para exponer partes desnudas energizadas)	0	N	N
<b>Paneles de distribución o tableros de distribución con tensión nominal &gt;240 V y hasta 600 V (con interruptores automáticos en caja moldeada o caja aislada) - Notas 1 y 3</b>	—	—	—
Operación de IA o conmutadores con fusibles con las cubiertas instaladas	0	N	N
Operario de IA o conmutadores con fusibles con las cubiertas retiradas	1	N	N
Trabajo en partes energizadas, incluyendo prueba de tensión	2*	Y	Y
<b>Centros de control de motores clase 600 V (CCMs) - Notas 2 (excepto como se indica) y 3</b>	—	—	—
Operación de: IA, conmutadores con fusibles, o arrancadores, cerradas las puertas del encerramiento	0	N	N
Lectura de un medidor de panel mientras que se opera el conmutador del medidor	0	N	N
Operación de: IA, o conmutadores con fusibles, o arrancadores, abiertas las puertas del encerramiento	1	N	N
Trabajo en partes energizadas, incluyendo prueba de tensión	2*	Y	Y
Trabajo en circuitos de control con partes expuestas energizadas a 120 V o menos	0	Y	Y
Trabajo en circuitos de control con partes expuestas energizadas >120 V	2*	Y	Y
Insertión o instalación de unidades de arrancadores en CCM - Nota 4	3	Y	N
Aplicación de tierras de seguridad, después de la prueba de tensión	2*	Y	N
Retiro de cubiertas atornilladas (para exponer partes energizadas desnudas)	2*	N	N

(Hoja 1 de 4)

### Clasificación de las categorías Peligro Riesgo (Extracto )

## **Otros equipos de protección.**

### **3-4.1 Herramientas aisladas.**

#### **3-4.1.1 Requisitos para las herramientas aisladas.**

##### **3-4.1.1.1**

Las herramientas aisladas deberán tener los valores nominales de la tensión a la cual se van a utilizar.

##### **3-4.1.1.2**

Las herramientas aisladas se deberán diseñar y construir para las condiciones ambientales a las cuales van estar expuestas y la manera en que se van a utilizar.

#### **3-4.1.2 Varas plásticas reforzadas con fibra de vidrio.**

Las varas (pértigas) y tubos de plástico reforzado con fibra de vidrio utilizados para herramientas de línea viva deberán cumplir las exigencias de ASTM F 711.

### **3-4.2 Puesta a tierra de protección temporal de equipos.**

#### **3-4.2.1**

Las tierras de protección temporal se deberán localizar en tales lugares y dispuesta de tal manera que se evite que cualquier empleado esté expuesto a los peligros de diferencias de potencial eléctrico.

#### **3-4.2.2**

Las tierras de protección temporal deberán ser capaces de conducir la máxima corriente de falla que pueda fluir en el punto de puesta a tierra durante el tiempo necesario para limpiar la falla.

#### **3-4.2.3**

La puesta a tierra de protección temporal deberá cumplir las exigencias de ASTM F 855.

#### **3-4.2.4**

Las tierras de protección temporal deberán tener una impedancia suficientemente baja para ocasionar la operación inmediata de los dispositivos de protección en caso de energización accidental de los conductores o partes de circuitos eléctricos.

### **3-4.3 Escaleras no conductivas.**

Las escalera no conductivas deberán cumplir las exigencias de las norma ANSI para escalera, dadas en la Tabla 3-4.11 de la Parte II.

### **3-4.4 Equipos de caucho aislante.**

Los equipos de caucho aislante utilizados para la protección contra contacto accidental con partes energizadas deberán cumplir las exigencias de las normas ASTM dadas en la Tabla 3-4.11 de la Parte II.

### **3-4.5 Equipos de protección de plástico con valor nominal de tensión.**

Los equipos de protección de plástico: para la protección de los empleados contra contacto accidental con partes energizadas, o para proteger al empleado o equipos energizados o materiales contra el contacto con tierra, deberán cumplir los requisitos de las normas ASTM dadas en la Tabla 3-4.11 de la Parte II.

### **3-4.6 Barreras físicas o mecánicas.**

Las barreras físicas o mecánicas (fabricadas en campo) se deberán instalar a una distancia no menor de la distancia restringida de aproximación dada en la Tabla 2-1.3.4 de la Parte II.

#### **NOTA**

Se deberá mantener la distancia restringida de aproximación especificada en la Tabla 2-1.3.4 de la Parte II, o las partes energizadas se deberán ubicar en una condición de trabajo eléctricamente segura mientras que la barrera se está construyendo.

### **3-4.7 Señales y etiquetas de seguridad.**

Cuando sea necesario advertirle a los empleados sobre peligros eléctricos que los puedan amenazar, se deberán utilizar: señales de seguridad, símbolos de seguridad o etiquetas de prevención de accidentes. Esas señales y etiquetas deberán cumplir las exigencias de la norma ANSI Z535 dadas en la Tabla 3-4.11 de la Parte II.

### **3-4.8 Barricadas.**

Se deberán utilizar barricadas en conjunto con señales de seguridad cuando sea necesario para impedir o limitar el acceso a los empleados a áreas de trabajo en las que hay partes energizadas. No se deberán utilizar barricadas conductivas cuando ellas puedan causar un peligro eléctrico. Las barricadas se deben ubicar a una distancia no menor que la frontera límite de aproximación dada en la Tabla 2-1.3.4 de la Parte

## **Instrumentos y equipos de prueba.**

### **3-4.10.1**

Los instrumentos, equipos y accesorios de prueba, deberán tener los valores nominales de los circuitos y equipos, a los cuales se van a conectar.

### **3-4.10.2**

Los instrumentos, equipos, y sus accesorios de prueba, se deberán diseñar para las condiciones ambientales a las que estarán expuestos y para la manera en que ellos se utilizaran.

### **3-4.11 Normas para otros equipos de protección.**

Otros equipos de protección exigidos en la Sección 3-4 de la Parte II deberán cumplir con las normas dadas en la Tabla 3-4.11 de la Parte II.

## **Capítulo 4**

### **Uso de específicos equipos y prácticas de trabajo relacionados con la seguridad**

#### **4-1 Usodeinstrumentosyequiposdeprueba.**

Solo personas calificadas desempeñarán el trabajo de prueba en o sobre partes energizadas que operen a 50 voltios o más.

##### **4-1.1 Inspección visual.**

Los instrumentos y equipos de prueba y todos los asociados: terminales de conexión, cables, cuerdas de potencia, sondas, y conectores, se deberán inspeccionar visualmente para establecer defectos y daños externos antes de que el equipo se utilice en cualquier turno. Si existe un defecto o evidencia de daño que pueda exponer a un empleado a heridas, los elementos defectuosos o dañados se deberán retirar del servicio, y ningún empleado los deberá utilizar hasta que se hayan hecho las necesarias reparaciones y pruebas para que el equipo vuelva a ser seguro.

#### **4-2 Energización y desenergización de circuitos eléctricos de potencia.**

##### **4-2.1 Apertura y cierre rutinarios de circuitos.**

Se deberán utilizar: conmutadores, interruptores automáticos, y otros dispositivos con valores nominales de carga, específicamente diseñados como medios de desconexión, para: la apertura, inversión, o cierre, de circuitos bajo condiciones de carga. A los conectores de cables no del tipo de desconexión bajo carga, fusibles, terminales, y conexiones de empalme de cables, no se les permitirá que se utilicen para esos propósitos, excepto en una emergencia.

#### **3 Equipo eléctrico portátil.**

Esta sección se aplica al uso de equipo conectado con cordón y clavija, incluidos los conjuntos de cordones (cordones de extensión).

##### **4-3.1 Manipulación.**

El equipo portátil deberá manipularse de una manera que no cause daño. Los cordones flexibles eléctricos conectados a los equipos no se deberán utilizar para levantar o bajar los equipos. Los cordones flexibles no se deberán asegurar con grapas o suspender de una manera que pueda dañar la chaqueta exterior o el aislamiento.

## **4-3.2 Equipo del tipo de puesta a tierra**

### **4-3.2.1**

Los cordones flexibles que se utilicen con equipos del tipo de puesta a tierra deberán contener un conductor de puesta a tierra de equipos.

### **4-3.2.2**

Las clavijas de conexión y los tomacorrientes no se deberán conectar o alterar de una manera que puedan interrumpir la continuidad del conductor de puesta a tierra de equipos en el punto donde las clavijas se conectan a los toma- corrientes. Adicionalmente, estos dispositivos no se deberán alterar para permitir que el polo de puesta a tierra de una clavija se inserte en los orificios destinados para la conexión de los conductores portadores de corriente.

### **4-3.2.3**

No se utilizaran adaptadores que interrumpan la continuidad del conductor de puesta a tierra de equipos.

## **4-3.3 Inspección visual de equipos portátiles conectados con cordón y clavija y de conjuntos de cordones flexibles.**

### **4-3.3.1 Frecuencia de inspección.**

Antes de usarse en algún turno, los equipos portátiles conectados con cordón y clavija se deberán inspeccionar para determinar si tienen defectos externos (tales como partes flojas, pasadores deformados o faltantes) y para evidenciar posibles daños internos (tales como pellizcos o aplastamientos en la chaqueta exterior).

*Excepción: equipos conectados mediante cordones y clavijas y conjuntos de cordones flexibles (cordones de extensión) que permanecen conectados una vez que ellos se han puesto en su lugar y que no están expuestos a daño, no se requiere que se inspeccionen visualmente hasta que se hayan relocalizado.*

### **4-3.3.2 Equipos defectuosos.**

Si hay un defecto o evidencia de daño que pueda exponer al empleado a heridas, el elemento defectuoso o dañado se debe retirar de servicio y ningún empleado lo debe utilizar hasta que se hayan hecho las necesarias reparaciones y la pruebas que vuelvan el equipo a su condición segura.

### **4-3.3.3 Coordinación apropiada.**

Cuando una clavija de conexión se va a conectar a un tomacorriente, primero se debe verificar la relación entre los contactos de la clavija y del toma corriente para garantizar que tiene configuraciones que les permite emparejarse.

## **4-3.4 Lugares de trabajo conductivos.**

Los equipos eléctricos portátiles utilizados en lugares de trabajo, altamente conductivos, (tales como los que se encuentran inundados con agua u otros líquidos conductivos) o en lugares de trabajo donde los empleados tienen la probabilidad de tener contacto con agua o líquidos conductivos, deberán estar aprobados para esos

lugares. En los lugares de trabajo donde existe la probabilidad de que los empleados entren en contacto o estén empapados con agua o líquidos conductivos, para la protección del personal se deberán utilizar interruptores de circuito contra falla a tierra.

### **Principios de la ejecución de candado/etiqueta.**

#### **5-1.1.1**

Toda persona que pueda estar directa o indirecta- mente expuesta a una fuente de energía eléctrica deberá participar en el proceso candado/etiqueta.

#### **NOTA**

Un ejemplo de exposición directa es el electricista calificado que va a trabajar en: el control de un arrancador de motor, o circuitos de potencia, o el motor. Un ejemplo de exposición indirecta es la persona que va a trabajar en el acoplamiento entre el motor y el compresor.

#### **5-1.1.2**

Todas las personas que puedan estar expuestas deberán recibir entrenamiento para que entiendan el procedimiento establecido para controlar la energía y la responsabilidad de ellos al ejecutar el procedimiento. Los nuevos empleados (o reasignados) deberán recibir entrenamiento (o ser reentrenados) para que entiendan el procedimiento candado/etiqueta en lo que tiene que ver con sus nuevas responsabilidades.

#### **5-1.1.3**

Se deberá desarrollar un plan fundamentado en los equipos y sistemas eléctricos existentes y se deberán utilizar planos actualizados de diagramas.

#### **5-1.1.4**

Todas las fuentes de energía eléctrica se deberán controlar de tal manera que se minimice la exposición de los empleados a peligros eléctricos.

#### **5-1.1.5**

El dispositivo candado/etiqueta debe ser único y fácilmente identificable como un dispositivo candado/etiqueta.

#### **5-1.1.6**

La tensión se deberá retirar y se deberá verificar la ausencia de tensión.

#### **5-1.1.7**

El procedimiento eléctrico candado/etiqueta establecido deberá estar coordinado con todos los procedimientos del empleador asociados con candado/etiqueta de otras fuentes de energía. Anualmente se deberán auditar la ejecución y el completamiento del procedimiento candado/ etiqueta.

### **5-1.2 Responsabilidad.**

El empleador deberá establecer los procedimientos candado/etiqueta para la organización, dar entrenamiento a los empleados, suministrar los equipos necesarios

para ejecutar los detalles del procedimiento, auditar la ejecución de los procedimientos para garantizar el entendimiento/cumplimiento por los empleados, y auditar el procedimiento para oportunidades de mejoramiento y el completamiento.

Existen tres formas de control de los peligros de la energía eléctrica que serán permitidas: control individual por parte del empleado, candado/etiqueta simple, y candado/etiqueta complejo. *(Consultar 5-1.3 de la Parte II.)* Una persona calificada será responsable del control individual por parte del empleado y del candado/etiqueta simple. Para candado/etiqueta complejo, la persona a cargo tendrá la responsabilidad general. *(Consulte el Apéndice D de la Parte II para un ejemplo del procedimiento candado/etiqueta.)*

#### **5-1.2.1 Auditoría.**

Se deberá auditar por lo menos una vez al año por una persona calificada y deberá contener por lo menos un candado/etiqueta que se esté adelantando y los detalles del procedimiento. La auditoría deberá diseñarse para corregir deficiencias en el procedimiento o en el entendimiento del empleado.

### **5-1.3 Procedimientos de control de los peligros de la energía eléctrica.**

#### **5-1.3.1 Procedimiento de control individual por empleados calificados.**

Se permitirá el procedimiento de control individual por empleados calificados cuando los equipos con conductores expuestos y partes de circuitos están desenergizados para menores: mantenimiento, revisión, ajuste, limpieza, inspección, condiciones de operación, y similares. Se permitirá que el trabajo se realice sin colocar dispositivos candado/etiqueta en los medios de desconexión, si los medios de desconexión están adyacentes: al conductor, a partes de circuitos, y a equipos, en los cuales se va a llevar a cabo el trabajo, los medios de desconexión son claramente visible por el empleado calificado particular que participará en el trabajo, y el trabajo no comprende más de un turno.

#### **5-1.4 Coordinación.**

##### **5-1.4.1**

#### **5-3.5 Enclavamientos de circuitos eléctricos.**

Se deberán consultar los planos de los esquemas actualizados para garantizar que la operación de algún enclavamiento de circuito eléctrico pueda ocasionar la re-energización del circuito en el que se estás trabajando.

##### **5-4.1.1 Localización de fuentes.**

Se deberá considerar como la principal fuente de referencia para esa información a los planos de diagramas unifilares actualizados. Cuando no estén disponibles los planos actualizados, el empleador tendrá la responsabilidad de garantizar que se empleen medio igualmente efectivos para localizar las fuentes de energía.

## **TABLEROS**

### **CONCEPTOS GENERALES**

De acuerdo a la norma NCH:

Los tableros son equipos eléctricos de una instalación, que concentran dispositivos de protección y de maniobra o comando, desde los cuales se puede proteger y operar toda la instalación o parte de ella.

La cantidad de tableros que sea necesario para el comando y protección de una instalación se determinará buscando salvaguardar la seguridad y tratando de obtener la mejor funcionalidad y flexibilidad en la operación de dicha instalación, tomando en cuenta la distribución y finalidad de cada uno de los recintos en que estén subdivididos el o los edificios componentes de la propiedad.

Los tableros serán instalados en lugares seguros y fácilmente accesibles, teniendo en cuenta las condiciones particulares siguientes:

Los tableros de locales de reunión de personas se ubicarán en recintos sólo accesibles al personal de operación y administración.

En caso de ser necesaria la instalación de tableros en recintos peligrosos, éstos deberán ser construidos utilizando equipos y métodos constructivos acorde a las normas específicas sobre la materia.

Todos los tableros deberán llevar estampada en forma visible, legible e indeleble la marca de fabricación, la tensión de servicio, la corriente nominal y el número de fases. El responsable de la instalación deberá agregar en su oportunidad su nombre o marca registrada.

### **CLASIFICACIÓN**

Atendiendo a la función y ubicación de los distintos Tableros dentro de la instalación, estos se clasificarán como sigue:

**Tableros Generales:** Son los tableros principales de las instalaciones. En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación de consumo en forma conjunta o fraccionada.

**Tableros Generales Auxiliares:** Son tableros que son alimentados desde un tablero general y desde ellos se protegen y operan subalimentadores que energizan tableros de distribución.

**Tableros de Distribución:** Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente sobre los circuitos en que está dividida una instalación o parte de ella; pueden ser alimentados desde un tablero general, un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme.

**Tableros de Paso:** Son tableros que contienen protecciones cuya finalidad es proteger derivaciones que por su capacidad de transporte no pueden ser conectadas directamente a un alimentador, subalimentador o línea de distribución del cual están tomadas.

**Tableros de Comando:** Son tableros que contienen los dispositivos de protección y de maniobra que permiten proteger y operar sobre artefactos individuales o sobre grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito.

**Centros de Control:** Son tableros que contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y que permiten la operación de grupos de artefactos, en forma individual, en subgrupos, en forma programada o manual.

Atendiendo a la utilización de la energía eléctrica controlada desde un tablero, éstos se clasificarán en:

- Tableros de Alumbrado,
- Tableros de Fuerza,
- Tableros de Calefacción,
- Tableros de Control,
- Tableros de Computación.

## **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN**

Todos los dispositivos y componentes de un tablero deberán montarse dentro de cajas, gabinetes o armarios, dependiendo del tamaño que ellos alcancen.

Los materiales empleados en la construcción de tableros deberán ser resistentes al fuego, autoextinguentes, no higroscópicos, resistentes a la corrosión o estar adecuadamente protegido contra ella.

Todos los tableros deberán contar con una cubierta cubre equipos y con una puerta exterior. La cubierta cubre equipos tendrá por finalidad impedir el contacto de cuerpos extraños con las partes energizadas, o bien, que partes energizadas queden al alcance del usuario al operar las protecciones o dispositivos de maniobra; deberá contar con perforaciones de tamaño adecuado como para dejar pasar libremente, sin que ninguno de los elementos indicados sea solidario a ella, palanquitas, perillas de operación o piezas de reemplazo, si procede, de los dispositivos de maniobra o protección. La cubierta cubre equipos se fijará mediante bisagras en disposición vertical, elementos de cierre a presión o cierres de tipo atornillado; en este último caso los tornillos de fijación empleados deberán ser del tipo imperdible.

La puerta exterior será totalmente cerrada permitiéndose sobre ella sólo luces piloto de indicación de tablero energizado. Su fijación se hará mediante bisagras en disposición vertical u horizontal.

Las partes energizadas de un tablero sólo podrán alcanzarse removiendo la cubierta cubre equipos, entendiéndose que esta maniobra solo se realizará por necesidad de efectuar trabajos de mantenimiento o modificaciones en el interior del tablero.

Los elementos de operación de las protecciones o dispositivos de maniobra sólo serán accesibles abriendo la puerta exterior la que deberá permanecer cerrada, para lo cual deberá contar con una chapa con llave o un dispositivo equivalente.

Se podrá exceptuar de la exigencia de contar con puerta exterior a todo tablero de uso doméstico o similar, con no más de cuatro circuitos.

Las cajas mencionadas en 6.2.1.1 se utilizarán para montajes embutidos o sobrepuestos en muros y se utilizarán en el montaje de tableros de baja capacidad y dimensiones reducidas.

Los gabinetes mencionados en 6.2.1.1 se utilizarán para montajes embutidos o sobrepuestos en muros o bien sobre estructuras autosoportantes y se utilizarán en el montaje de tableros de mediana capacidad y dimensiones.

Los armarios mencionados en 6.2.1.1 se utilizarán en el montaje de tableros de gran capacidad, se construirán de modo tal que sean autosoportantes y se montarán anclados al piso. Además de ser accesibles frontalmente a través de puertas y cubiertas cubre equipos como las prescritas en 6.2.1.3 podrán ser accesibles por los costados o por su parte trasera mediante tapas removibles fijadas mediante pernos del tipo imperdible.

El conjunto de elementos que constituyen la parte eléctrica de un tablero deberá ser montado sobre un bastidor o placa de montaje mecánicamente independiente de la caja, gabinete o armario los que se fijarán a éstos mediante pernos, de modo de ser fácilmente removidos en caso de ser necesario.

El tamaño de caja, gabinete o armario se seleccionará considerando que:

- El cableado de interconexión entre sus dispositivos deberá hacerse a través de bandejas no conductoras que permitan el paso cómodo y seguro de los conductores.
- Deberá quedar un espacio suficiente entre las paredes de las cajas, gabinetes o armarios y las protecciones o dispositivos de comando y/o maniobra de modo tal de permitir un fácil mantenimiento del tablero.
- Se deberá considerar un volumen libre de 25% de espacio libre para proveer ampliaciones de capacidad del tablero.

Las cajas, gabinetes o armarios en que se monten los tableros podrán ser construidos con placas de acero o materiales no conductores.

Las cajas y gabinetes metálicos podrán estar constituidos por placas de acero plegadas y soldadas las que le darán forma y rigidez mecánica. Los armarios metálicos se estructurarán sobre bastidores de perfiles de resistencia mecánica adecuada a las exigencias del montaje y se cerrarán con placas plegadas las que formarán sus cubiertas y puertas. Será recomendable la construcción modular de estos contenedores de modo de poder construir tableros de gran tamaño mediante el montaje de grupos de estos módulos.

Las placas de acero que se utilicen en la construcción de cajas, gabinetes o armarios tendrán espesores mínimos de acuerdo a lo indicado en la tabla No 6.2.

Todos los componentes metálicos de cajas, gabinetes y armarios deberán someterse a un proceso de acabado que garantice una adecuada resistencia a la corrosión; este proceso consistirá a lo menos en un lavado de desgrase, decapado ácido, imprimación, aplicación de dos manos de esmalte anticorrosivo y aplicación por proceso de adherencia electrostática de dos manos de esmalte de acabado. La calidad de esta terminación se deberá comprobar mediante la aplicación de las normas de control de calidad correspondientes

Los materiales no metálicos empleados en la construcción de cajas, gabinetes o armarios deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Serán no higroscópicos.
- En caso de combustión deberán ser autoextinguentes, arder sin llama y emitir humos de baja opacidad, sus residuos gaseosos serán no tóxicos.
- Tendrán una resistencia mecánica suficiente como para soportar una energía de choque de 2 joules para tableros con puerta y 0,5 joules para tableros sin puerta.

**NOTA.-** En tanto no se dicte la Norma Nacional correspondiente la calidad de los materiales no metálicos destinados a la construcción de tableros se podrá ensayar de acuerdo a la Norma CEl 695.

Tensiones de servicio [V]	Distinta polaridad tendido al aire	Distinta polaridad montada sobre la misma superficie	Partes energizadas con respecto a tierra
	[mm]		
0 a 200	15	20	15
201 a 400	20	35	15
401 a 1000	30	50	30

### **Espesor mínimo de la plancha de acero para cajas, gabinetes o armarios**

Las distancias mínimas entre partes desnudas energizadas dentro de un tablero serán determinadas de acuerdo a la Tabla siguiente. Se exceptúan de esta exigencia a las distancias entre contactos de dispositivos de protección y de maniobra las cuales deberán cumplir con las Normas específicas respectivas.

Tensiones de servicio [V]	Distinta polaridad tendido al aire	Distinta polaridad montada sobre la misma superficie	Partes energizadas con respecto a tierra
	[mm]		
0 a 200	15	20	15
201 a 400	20	35	15
401 a 1000	30	50	30

#### **Distancia entre partes energizadas desnudas dentro de un tablero**

Los tableros deberán construirse con un índice de protección (grado IP) adecuado al medio ambiente y condiciones de instalación. En general no se aceptará la construcción de tableros de tipo abierto. Ver 5.3.2.

*De acuerdo a esta disposición no será aceptable la construcción de tableros grados IP00 y como referencia se sugiere considerar un grado IP 41 como mínimo para tableros en interior e IP44 como mínimo para tableros instalados en exterior.*

La altura mínima de montaje de los dispositivos de comando o accionamiento colocados en un tablero será de 0,60 m y la altura máxima será de 2,0 m, ambas distancias medidas respecto del nivel de piso terminado.

#### **Material eléctrico**

Los conductores de alimentación que lleguen a un tablero deberán hacerlo a puentes de conexión o barras metálicas de distribución desde donde se harán las derivaciones para la conexión de los dispositivos de comando o protección constitutivos del tablero. No se aceptará el cableado de un tablero con conexiones hechas de dispositivo a dispositivo.

Las barras de distribución se deberán montar rígidamente soportadas en las cajas, gabinetes o armarios; estos soportes deberán ser aislantes.

La cantidad y dimensiones de los soportes de barras se fijarán de acuerdo al cálculo de esfuerzos dinámicos que se originen en la más alta corriente de cortocircuito estimada para el tablero y teniendo en consideración la presencia de armónicas de corriente o tensión que puedan originar resonancias mecánicas de las barras.

Tanto las barras como los conductores del cableado interno de los tableros deberán cumplir el código de colores indicado en 8.0.4.15.

La capacidad de transporte de corriente de las barras de distribución de un tablero se fijará de acuerdo a la tabla No 6.4.

Todo el cableado interno de los tableros que corresponda a la alimentación de los consumos externos se deberá hacer llegar a regletas de conexiones de modo tal que los conductores externos provenientes de estos consumos se conecten a estas regletas y no directamente a los terminales de los dispositivos de protección o comando.

Todos los tableros cuya capacidad sea igual o superior a 200 Amperes deberán llevar instrumentos de medida que indiquen la tensión y corriente sobre cada fase.

Todos los tableros deberán llevar luces piloto sobre cada fase para indicación de tablero energizado. Se exceptúan de esta exigencia a los tableros de uso doméstico o similar de menos de ocho circuitos.

## Orden de conexonado

Los conductores del lado de la alimentación llegarán siempre al dispositivo de maniobra y de allí al dispositivo de protección, en caso que éstos constituyan elementos separados.

Dimensiones de las barras [mm <sup>2</sup> ]	Barras pintadas Número de barras				Barras desnudas Número de barras			
	I	II	III	50 mm* II II	I	II	III	50 mm* II II
12x2	125	225			110	200		
15x2	155	270			140	240		
15x3	185	330			170	300		
20x2	205	350			185	315		
20x3	245	425			220	380		
20x5	325	560			295	500		
25x3	300	520			270	460		
25x5	395	670			350	600		
30x3	355	610			315	540		
30x5	450	780			400	700		
40x3	460	790			425	710		
40x5	600	1.000			520	900		
40x10	850	1.500	2.060	2.800	760	1.350	1.850	2.500
50x5	720	1.220	1.750	2.300	630	1.100	1.650	2.100
50x10	1.030	1.800	2.450	3.330	920	1.600	2.250	3.000
60x5	850	1.430	1.950	2.650	760	1.250	1.760	2.400
60x10	1.200	2.100	2.800	3.700	1.060	1.900	2.600	3.500
80x5	1.070	1.900	2.500	3.200	870	1.700	2.300	3.000
80x10	1.560	2.500	3.300	4.500	1.380	2.300	3.100	4.200
100x5	1.350	2.300	3.000	3.800	1.200	2.050	2.850	3.500
100x10	1.880	3.100	4.000	5.400	1.700	2.800	3.650	5.000
120x10	2.250	3.500	4.500	6.100	2.000	3.100	4.100	5.100
160x10	2.800	4.400	5.800	7.800	2.500	3.900	5.300	7.300
200x10	3.350	5.300	6.900	9.400	3.000	4.750	6.350	8.800

## Capacidad de Corriente para Barras de Cobre de Sección Rectangular Corriente Permanente en Amperes

Medida mínima para la luz entre pares de barras. Se recomienda utilizar preferentemente barras planas de bordes redondeados

Los conductores de alimentación deberán llegar siempre a los contactos fijos de interruptores, disyuntores, seccionadores o contactores; si por alguna razón ineludible no resulta posible cumplir esta exigencia, esta condición deberá indicarse claramente en un letrero colocado bajo el dispositivo correspondiente.

En los tableros cuyas protecciones sean fusibles tipo D los conductores del lado de la alimentación llegarán siempre al contacto central de la base.

En tableros en que se usen fusibles como limitadores de corriente de cortocircuito, en serie con disyuntores, los conductores de la alimentación llegarán primero a los fusibles.

### **Conexión a tierra**

Todo tablero deberá contar con una barra o puente de conexión a tierra.

Si la caja, gabinete o armario que contiene a un tablero es metálico, deberá protegerse contra tensiones peligrosas.

Las conexiones a tierra de un tablero deberán cumplir con lo dispuesto en la sección 10

### **DISPOSICIONES APLICABLES A TABLEROS GENERALES**

Se deberá colocar un tablero general en toda instalación en que exista más de un tablero de distribución y la distancia entre estos tableros y el empalme sea superior a 10 m.

También se deberá colocar un tablero general en aquellas instalaciones en que existiendo un único tablero de distribución, éste esté separado más de 30 m del equipo de medida del empalme y el alimentador de este tablero no quede protegido por la protección del empalme.

*Debe entenderse que las disposiciones de son aplicables en conjunto de modo que prima la condición de no existencia de tablero general en caso de que el alimentador esté protegido por la protección del empalme.*

Todo tablero del cual dependan más de seis alimentadores deberá llevar un interruptor general o protecciones generales que permitan operar sobre toda la instalación en forma simultánea.

*NOTA: Dado el hecho de que generalmente esta exigencia se cumple instalando un disyuntor, lo que significa una protección y un elemento de comando reunidos en un solo aparato, se tiende a establecer que la norma exige una protección en esta posición, sin embargo 6.3.3 indica que es suficiente con un interruptor (elemento de comando).*

Los tableros generales auxiliares se colocarán en aquellas instalaciones en que se necesite derivar desde un alimentador, subalimentadores, para energizar distintos tableros de distribución en forma individual o en grupo.

En un tablero general no podrán colocarse dispositivos de operación o protección para alimentadores de distintas tensiones.

## DISPOSICIONES APLICABLES A TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN

En un tablero de distribución de Alumbrado no deberán colocarse más de 42 dispositivos de protección distintos a las protecciones generales. Para los efectos de aplicación de esta disposición una protección bipolar se considerará como dos dispositivos de protección y una protección tripolar como tres.

Todo tablero de distribución cuya capacidad sea inferior o igual a 200 Amperes o cuyo alimentador tenga un dispositivo de protección de capacidad nominal inferior o igual a 200 Amperes, no necesitará de dispositivos de operación o protección generales.

En caso de que varios tableros de distribución sean alimentados desde un alimentador común y las protecciones de este tengan una capacidad superior a 200 Amperes, cada tablero de distribución deberá llevar dispositivos de operación y protección generales, aunque su capacidad individual sea inferior a 200 Amperes.

Cuando exista un único tablero de distribución en una instalación se aplicará 6.3.3.

En un tablero de distribución en que se alimentan circuitos de distintos servicios, tales como fuerza, alumbrado, calefacción u otros, las protecciones se deberán agrupar ordenadamente ocupando distintas secciones del tablero. Se colocarán protecciones generales correspondientes a cada servicio cuando las condiciones de seguridad y funcionamiento lo requieran.

## ALIMENTADORES

### Conceptos Generales

Se clasificarán en:

- Alimentadores propiamente tales: son aquellos que van entre el equipo de medida y el primer tablero de la instalación, o los controlados desde el tablero general y que alimentan tableros generales auxiliares o tableros de distribución.
- Subalimentadores: son aquellos que se derivan desde un alimentador directamente o a través de un tablero de paso, o bien, los controlados desde un tablero general auxiliar.

En un circuito, a los conductores a través de los cuales se distribuye la energía se denominarán líneas de distribución y a los conductores que alimentan a un consumo específico o llegan al punto de comando de éste se les denominará derivaciones y, en general, no se les aplicarán las disposiciones de esta sección.

Los alimentadores de una propiedad no deben pasar por partes de una propiedad vecina. En el caso de edificios, para llegar desde el punto de empalme hasta la propiedad respectiva deberán utilizarse los espacios de uso común. Si por razones de arquitectura o de construcción no es posible utilizar los pasillos o pozos de servicio para llevar canalizaciones de alimentadores, se considerará espacios de uso común tanto a

los muros exteriores del edificio como aquellos muros que dan a pasillos o escaleras. Si se utilizan muros exteriores se deberá emplear sistemas de canalización que aseguren una resistencia a la corrosión y una hermeticidad adecuadas.

## **ESPECIFICACIONES**

### **Canalizaciones**

Los alimentadores se canalizarán, utilizando alguno de los sistemas de canalización indicados en la sección 8.

La sección de los conductores de los alimentadores y subalimentadores será, por lo menos, la suficiente para servir las cargas determinadas de acuerdo a 7.2. En todo caso la sección mínima permisible será de 2,5 mm<sup>2</sup>.

La sección de los conductores de los alimentadores o subalimentadores será tal que la caída de tensión provocada por la corriente máxima que circula por ellos determinada de acuerdo a 7.2.1.1, no exceda del 3% de la tensión nominal de la alimentación, siempre que la caída de tensión total en el punto más desfavorable de la instalación no exceda del 5% de dicha tensión. Estos valores son válidos para alimentadores de alumbrado, fuerza, calefacción o combinación de estos consumos.

Los alimentadores destinados a energizar departamentos u oficinas en edificios de altura, considerados en el párrafo 5.1.14, se canalizarán a través de conductos verticales ubicados estratégicamente en la construcción.

Los conductos serán accesibles en todos los pisos pero permanecerán cerrados mediante puertas con cerraduras con llave.

La canalización de estos alimentadores será preferentemente a través de ductos cerrados individuales, pero en caso de usar escalerillas porta conductores se deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Sólo podrán utilizarse cables multiconductores y estos deberán tener chaquetas y aislaciones del tipo de emisión no tóxica.
- Los cables serán en un solo tramo; no se permitirán uniones en estos alimentadores.
- Se tenderán estos cables ordenadamente manteniendo su posición relativa dentro de las escalerillas a lo largo de todo su recorrido. Para mantener este ordenamiento los cables serán peinados y amarrados a los travesaños de la escalerilla en tramos no superiores a 2,0 m.
- Sólo se podrán disponer los alimentadores en una capa y existirá una separación de a lo menos 1 cm entre cable y cable.
- Los alimentadores se marcarán piso a piso mediante identificadores tipo collarín plástico de modo de permitir su fácil identificación para facilitar trabajos de mantenimiento o reemplazo.

## 4.5 Sistemas de control de centro de control de motores



**Figura 79**  
**Centro de control de motores**

Los tableros generales y generales auxiliares considerados en y aquellos cuyas características de funcionamiento lo exijan deberán llevar luces piloto de indicación del estado de funcionamiento de cada uno de los alimentadores, subalimentadores o circuitos controlados desde ellos.

Los dispositivos de control, luces piloto, instrumentos de medida u otros similares montados en un tablero y que necesiten de energía eléctrica para su funcionamiento, deberán ser alimentados desde circuitos independientes cuya protección podrá ser como máximo de 10 Amperes y de la capacidad de ruptura adecuada.

Los alimentadores se deberán proteger tanto a la sobrecarga como al cortocircuito, con las protecciones adecuadas a cada situación. Los alimentadores se protegerán a la sobrecarga de acuerdo a la potencia utilizada, estando limitada la protección máxima por la capacidad de transporte de corriente de los conductores. En alimentadores que lleven un conductor de puesta a tierra no deberán colocarse protecciones en este conductor, a menos, que la protección sea de un tipo tal que opere simultáneamente sobre todos los conductores del alimentador. Las derivaciones tomadas desde un alimentador deberán protegerse contra las sobrecargas y los cortocircuitos. Se exceptuarán de esta exigencia a aquellas derivaciones de no más de 10 m de largo, cuya sección no sea inferior a un tercio de la del alimentador y que sean canalizadas en ductos cerrados y, a aquellas que queden protegidas por la protección del alimentador. Cada alimentador deberá tener un dispositivo individual de operación.

## **Protección contra las condiciones de ambientes desfavorables**

Los conductores expuestos a la acción de aceites, grasas, solventes, vapores, gases, humos u otras sustancias que puedan degradar las características del conductor o su aislación deberán seleccionarse de modo que las características típicas sean adecuadas al ambiente.

Los sistemas de canalización, de acuerdo al medio ambiente en que se instalen, deberán cumplir lo establecido en NCH Elec 4/2003 Párrafo 5.4.2.

En locales muy húmedos, en donde los muros son lavados frecuentemente o muros contruidos con materiales higroscópicos, el sistema completo de canalización, si es a la vista, debe quedar separado del muro o superficie soportante por lo menos 1 cm. En estos casos, si la canalización es embutida o preembutida sólo podrán usarse tuberías no metálicas como medio de canalización

### **4.5.1 Protecciones y comandos**

#### **Protecciones de sobrecarga**

Los conductores de circuito, los motores y los aparatos de control de motores deben protegerse de sobrecalentamientos debidos a sobrecargas, originadas durante la marcha del motor o provocadas por fallas en la partida. La protección de sobrecarga no protegerá contra cortocircuitos o fallas a tierra.

Todo motor de régimen permanente cuya potencia sea superior a 1 HP deberá protegerse, contra las sobrecargas, mediante un dispositivo de protección que responda a la corriente del motor. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulado a no más de 1,25 veces la corriente nominal del motor si se trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 o, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.

*NOTA.- El factor de servicio es un coeficiente usado en los motores fabricados de acuerdo a Normas Norteamericanas y señala la sobrecarga permanente que el motor tolera. Usualmente se lo identifica en placa por las letras F.S. o S.F.*

*Todas las referencias indicadas en el texto se relacionan con la Norma NCH Elec.4/2003*

En caso que a través del protector no circule toda la corriente de carga del motor, como por ejemplo, si el protector queda incorporado a la conexión triángulo de los enrollados, el protector deberá regularse o tener una capacidad nominal de acuerdo a la corriente que por él circule, cumpliendo respecto de esta corriente las condiciones establecidas en 12.3.1.2.

Todo motor de régimen permanente de potencia nominal inferior a 1 HP y partida manual que tenga su comando al alcance de la vista, se considerará suficientemente protegido por las protecciones de cortocircuito y de falla a tierra del circuito, siempre que éstas cumplan con lo indicado en 12.3.2.

Los motores de régimen permanente de potencia inferior a 1 HP y partida automática se deberán proteger contra la sobrecarga en la forma indicada en 12.3.1.2 o 12.3.1.3.

No obstante lo indicado en 12.3.1.5, se considerará a este tipo de motores suficientemente protegido contra la sobrecarga y no necesitarán de protector si forman parte de un equipo que normalmente no está sujeto a sobrecargas, o el equipo cuenta con otros dispositivos de seguridad que eviten la sobrecarga. En estos casos, el equipo deberá tener una placa que indique que cuenta con dichos dispositivos de protección.

En los motores de varias velocidades, cada conexión de enrollados, se considerará en forma independiente para los efectos de dimensionar las protecciones.

Los motores usados en condiciones de régimen de breve duración, intermitente o periódico, se considerarán protegidos contra la sobrecarga por las protecciones de cortocircuito y de falla a tierra, siempre que estas cumplan lo establecido en 12.3.2. Se considerará como régimen permanente a todo motor, salvo que por las condiciones de uso o de proceso sea imposible que pueda trabajar en forma permanente.

*NOTA.- El dispositivo usual de protección contra sobrecargas es el protector térmico.*

En el caso de motores comandados en forma manual, aún mediante contactor y botoneras, si el protector seleccionado para el motor no permite la partida de éste, se podrá puentear el protector durante la partida siempre que el dispositivo empleado para puentearlo sea de un tipo tal que no permanezca en dicha posición y las protecciones de cortocircuito estén dimensionadas de acuerdo a 12.3.2.2 y no queden puenteadas durante la partida.

No se aceptará esta solución para motores de partida automática.

Se deberá colocar un elemento protector de sobrecarga en cada conductor activo de la alimentación al motor.

Los dispositivos protectores de sobrecarga al operar, deberán interrumpir la circulación de corriente en el motor.

### **Protecciones de cortocircuito**

Todo motor deberá contar con una protección de cortocircuito. Esta protección se dimensionará de modo tal que sea capaz de soportar sin operar, la corriente de partida del motor.

La capacidad nominal de las protecciones de cortocircuito de un motor se dimensionará comparando la característica de la corriente de partida y el correspondiente valor durante el período de aceleración del motor o máquina, si es que el motor parte acoplado a su carga, con la curva de respuesta de la protección seleccionada de modo que ésta no opere bajo condiciones normales de partida.

En los casos en que el fabricante de un equipo indique valores máximos para los dispositivos de protección de éste, o bien sobre los motores del equipo se indiquen

dichos valores máximos, éstos no deberán sobrepasarse aun cuando de acuerdo al párrafo precedente sea permisible un valor superior.

Un grupo de motores de potencia individual no superior a 1 HP podrá tener una protección de cortocircuito única si se cumplen las condiciones siguientes:

- La protección no podrá tener una capacidad nominal superior a 15 A.
- La corriente nominal de cada motor no deberá exceder 8 A.
- Se cumpla 12.3.2.4, si procede.
- Las protecciones individuales de sobrecarga deben cumplir 12.3.1.

Se aceptará que las protecciones de cortocircuito, de falla a tierra y de sobrecarga en marcha estén combinadas en un único dispositivo, en donde la capacidad nominal o la regulación de ésta proporcione protección de sobrecarga en marcha de acuerdo a las condiciones exigidas en 12.3.1.

Las protecciones de circuitos de motores deberán tener dispositivos de protección que actúen sobre todos los conductores activos.

Para máquinas de varios motores o en que existan consumos combinados se aceptará una única protección de cortocircuito, cuya capacidad nominal no deberá exceder el valor señalado en la placa de la máquina.

#### Partidores e interruptores

- Los motores podrán tener sistemas de partida directa o con tensión reducida. Se entenderá por partida directa a aquella en que en el instante de partida se aplica a los bobinados del motor, conectados en su conexión normal de funcionamiento, la tensión de la red; y por partida con tensión reducida a aquella en que mediante algún dispositivo adicional se aplica a los bobinados una tensión inferior a la de la red o se altera transitoriamente su conexión normal de funcionamiento.
- Las empresas eléctricas de distribución fijarán en sus respectivas zonas la potencia máxima de los motores, alimentados desde empalmes en baja tensión, que podrán tener partida directa, de modo de lograr que la corriente de partida no produzca perturbaciones en el funcionamiento de instalaciones vecinas.
- Para instalaciones conectadas a empalmes en media tensión, el instalador a cargo del proyecto o el montaje de la instalación deberá determinar la máxima potencia del motor que pueda tener partida directa, en función a la capacidad nominal y otras características del transformador que las alimente, considerando que la partida directa del motor no debe provocar perturbaciones en el resto de la instalación, en particular, no debe provocar problemas de parpadeo en los circuitos de alumbrado ni perturbaciones en los circuitos de procesamiento automático de datos.

*Pese a tener más de cuarenta años de vigencia y haberse superado todas las condiciones técnicas que sirvieron de sustento a la disposición normativa que fija en 3 KW la potencia máxima permitida para partida directa de motores en instalaciones con*

*empalmes en B.T., las Empresas Eléctricas no han actualizado esta disposición. En general dicha potencia podrá aumentarse respetando siempre el principio de no provocar perturbaciones en otras instalaciones o servicios.*

Los motores fijos de potencias inferiores a 100 W de funcionamiento permanente y de alta impedancia, tales como motores de reloj, no necesitan de un partidor y podrán ser conectados desde la protección del circuito o mediante un enchufe.

*NOTA.- Se entenderá por partidor a un dispositivo de comando que permite hacer partir o detener un motor; la partida podrá ser directa o a tensión reducida. Eventualmente el partidor puede tener incluidas las protecciones de sobrecargas.*

Los motores portátiles de 200 W o menos no necesitan un partidor y podrán ser comandados mediante sus enchufes.

Los partidores podrán hacer partir o detener el motor y deberán tener una capacidad de ruptura suficiente como para abrir la corriente de rotor trabado.

Cada motor deberá tener su partidor individual. Este podrá ser un actuador de "partida y parada", un actuador estrella - triángulo, un autotransformador, un reóstato u otro aparato similar.

Todo motor deberá tener un interruptor que permita desconectar del circuito al motor y a su partidor.

El interruptor deberá ubicarse en un punto en que quede con vista al partidor del motor y deberá ser fácilmente accesible.

Para motores de partida directa el interruptor puede ser empleado como partidor, siempre que esté ubicado con vista al motor.

El interruptor que desconecta al motor del circuito deberá interrumpir todos los conductores activos de la alimentación.

Cuando la instalación consista en un único motor podrá usarse como interruptor de desconexión, el del tablero de distribución, siempre que éste esté ubicado con vista al motor.

#### **4.5.2 Sistema de Control Centro de Control de Motores**

Se entenderá por circuito de control de motores aquel circuito que lleva señales eléctricas de mando para el motor o conjunto de motores pero a través del cual no circula la corriente de alimentación

Los conductores y elementos del circuito de control que estén contenidos dentro de la caja del partidor o del equipo, se consideraran protegidos por las protecciones del motor.

Los conductores y elementos de control pertenecientes a un circuito montado fuera de la caja del equipo o partidor, deberán protegerse con protecciones de cortocircuito cuya capacidad se fijará de acuerdo a la capacidad de transporte de corriente de los conductores o la potencia de consumo de dichos elementos.

No obstante lo indicado en 12.3.4.3 se podrá prescindir de la protección separada del circuito de control, donde la capacidad nominal o la regulación de las protecciones del motor no excedan en dos veces la capacidad de transporte de corriente de los conductores de control o en donde una apertura del circuito de control pueda crear riesgos superiores como en el caso de una bomba de incendio u otros similares.

No será exigencia que los circuitos de control estén conectados a la tierra de servicio. Sin embargo, donde esta conexión sea necesaria, el circuito se dispondrá de tal manera que una conexión accidental a tierra no haga partir el o los motores controlados.

Los circuitos de control se canalizarán mediante alguno de los métodos prescritos en la sección No 8, según el ambiente y condiciones de montaje en cada caso.

Los circuitos de control deben contar con un interruptor que los separe de su fuente de alimentación. En donde se usa, además de la alimentación principal, una fuente independiente para alimentación exclusiva del circuito de control, dicho interruptor deberá abrir ambas fuentes, simultáneamente, o se colocarán juntos dos interruptores para abrir cada alimentación.

Si se usa un transformador para obtener tensión reducida para los circuitos de control, este transformador deberá ser desconectado de la alimentación por el interruptor indicado en 12.3.4.7.

#### **4.5.3 Centros de Control de Motores (CCM)**

Los centros de control de motores (CCM) son conjuntos de dispositivos encargados de regular el funcionamiento y accionamiento de los motores de las máquinas.

Se trata de gabinetes o armarios metálicos dentro de los cuales se agrupan unidades de control que permiten proteger a los motores. Dentro de los centros de control de motores se encuentran los cubículos, donde se agrupan las unidades de control.

## Funcionamiento de los centros de control de motores

La forma en la que trabajan los centros de control de motores es la siguiente:

- Cada cubículo está conectado directamente con un motor.
- Los cubículos cuentan con paneles de control con botones de arranque y cese del funcionamiento.
- Según se requiera, los motores serán arrancados o detenidos directamente desde el cubículo que le corresponde.
- Dentro de los cubículos hay sistemas de corte de energía que permiten desactivar los motores en casos de emergencia.
- Dependiendo de las máquinas que se necesite utilizar, los motores se accionan independientemente facilitando su control.

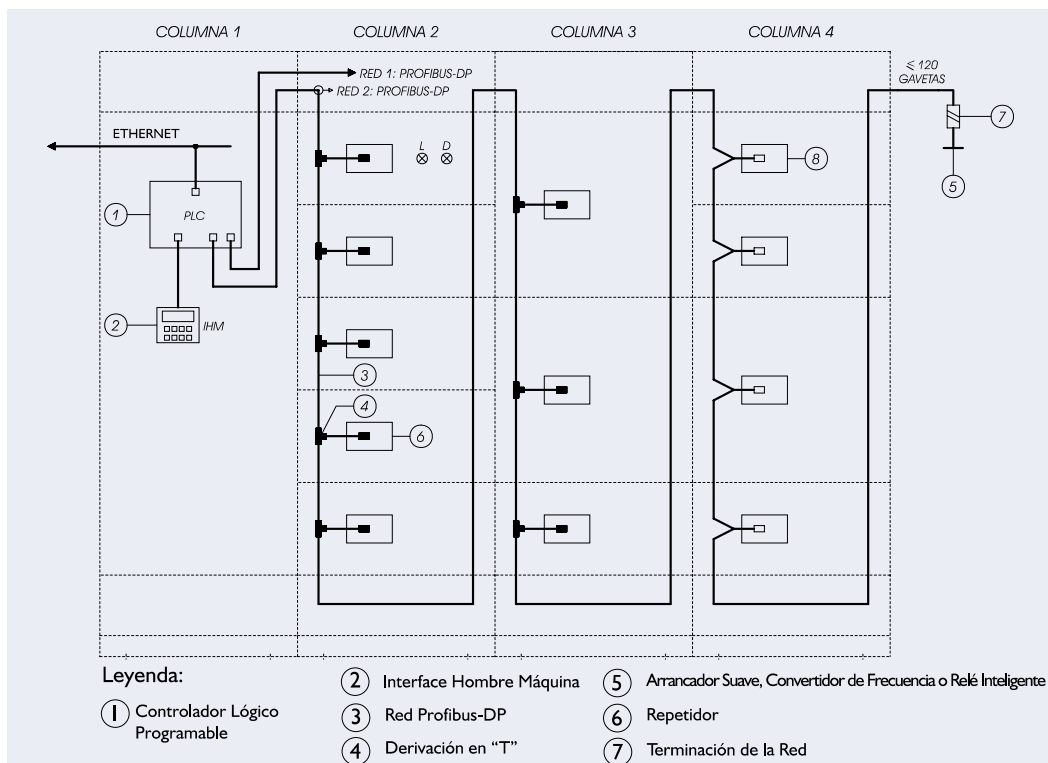
## Ventajas de los centros de control de motores

Las principales ventajas que ofrece el uso de centros de control de motores incluyen:

- Automatización del funcionamiento de los motores
- Mínimo costo de supervisión
- Capacidad de operar individualmente los motores
- Efectivas medidas de seguridad
- Protección de los motores ante eventuales variaciones de energía o descargas

En cada compartimiento se instala un sistema de rieles y en la puerta del compartimiento se instalan los elementos de maniobra tales como, pulsadores de marcha, parada, contramarcha, regulación de velocidad, luces equipos de control, etc. Dentro del compartimiento sobre plataformas fijas, semiextraíbles o extraíbles, se instalan los equipos para protección y arranque tales como: breakers, guarda motores, relés térmicos, contactores, variadores, etc.

Los **Centros de Control de Motores** normalmente contienen arrancadores convencionales y de estado sólido, variadores de frecuencia en corriente alterna, tableros de alumbrado y transformadores, equipos de monitoreo y control de la energía, **PLCs** con sus respectivas entradas y salidas **(E/S)** e interfaces **Hombre-Máquina (HMI)**. Para áreas remotas, éstos **Centros de Control de Motores** pueden ser las estaciones de control y distribución de la energía en las instalaciones de la Planta.



**Figura 80**  
**Diagrama de control**

### Clasificación de los CCM

Los CCM se clasifican de acuerdo a su tipo de construcción y su tipo de ejecución. El cableado de los se conocen por su clase y tipo.

#### Según su tipo de construcción

- **Un frente:** Son aquellos en los que las gavetas o bandejas se encuentran ubicadas en un solo frente, teniendo acceso a las partes activas desde el frente, pero las barras, el cableado y las partes activas desde la parte posterior.
- **Tipo de dos frentes (Back to back):** Son aquellos donde las gavetas o bandejas se encuentran ubicadas en los dos frentes, el anterior y el posterior. Las partes activas tienen acceso desde los dos frentes, pero a las barras secundarias y el cableado interno se llega solamente desmontando tabiques y soportes desde cualquiera de los frentes.

#### Según su tipo de ejecución:

- **Extraíble:** Son aquellos que se caracterizan por tener sus gavetas totalmente extraíbles, con la posibilidad de alcanzar las posiciones insertada, extraída y prueba; en esta el circuito de control está activado y el circuito de potencia está desacoplado mecánicamente de las barras de fuerza. Los circuitos de fuerza, control y carga se desconectan automáticamente al extraer la gaveta. El concepto

extraíble corresponde a la expresión “Draw-out” usada en las normas en idioma inglés.

- **Enchufable:** Son aquellos que se caracterizan por tener sus gavetas enchufables, con la posibilidad de alcanzar las posiciones insertada y extraída en los cuales el circuito de fuerza se desconecta automáticamente al extraer la gaveta, pero los circuitos de control y carga deben ser desconectados manualmente. El concepto enchufable corresponde a la expresión “plug- in” usadas en las normas del idioma inglés.
- **-Fijo:** Son aquellos que se caracterizan por tener sus gavetas o bandejas integradas a la celda en forma fija. Todos los circuitos de fuerza, control y carga se desconectan manualmente.

## **4.6 Centro de distribución de cargas**

### **4.6.1 Componentes de control (luces piloto, regletas de conexión, fusibles, contactores, relés, interruptores, transformador de control, cables)**

#### **Interruptor termomagnético principal [18]**

La corriente máxima de diseño que debería manejar el CCM, es el total de las corrientes de cada motor, cuando todos los motores funcionan simultáneamente, evento que debe considerar la forma normal que tiene la operación del CCM, en muchos casos aparece el concepto de potencia de reserva.

Interruptor principal tripolar, para un voltaje de operación de 400V, una frecuencia de 50Hz, con capacidad de interrupción en kA y una corriente nominal de plena carga.

En la mayoría de los caso el interruptor seleccionado puede ser, por ejemplo, interruptor Termomagnético tripolar en caja moldeada clase 600 A y 65KA.

Las características tiempo corriente se muestran más adelante

#### **Protección de los motores**

La protección de los motores casi es normal encontrar un interruptor magnético y su respectiva protección de sobrecarga.

$$I_n \geq 1.1 \times I_m \quad I_n \geq 95.59A$$

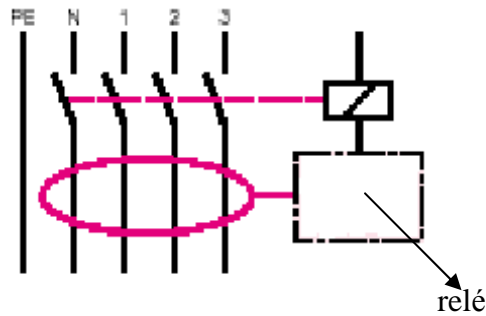
Para la elección de la protección contra sobrecargas, el punto crítico a tomar en cuenta es el arranque. El otro tópico que hay tomar en cuenta es si el dispositivo es de reposición manual o automática

#### **Protección de falla a tierra**

La protección diferencial de falla a tierra consiste en medir la corriente de fuga a tierra y en provocar el corte de la alimentación cuando esta corriente resulta peligrosa para las personas o para el CCM.

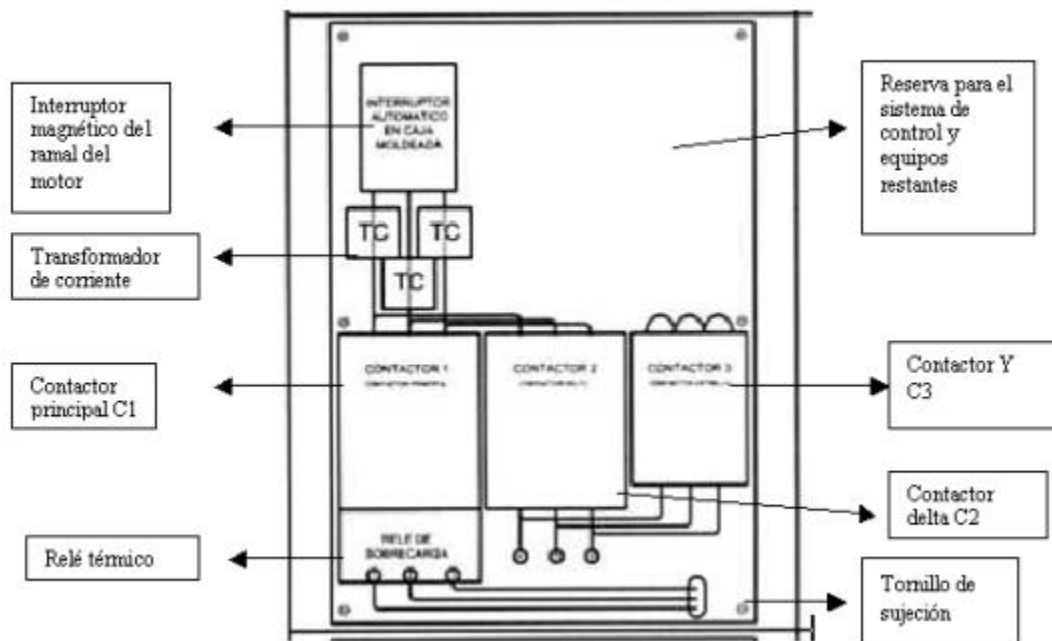
Consiste en un toroidal que detecta la corriente diferencial residual, enviando esta información al relé que maniobra la apertura del interruptor principal del CCM o

simplemente dar una alarma indicando que existe una fuga peligrosa. El esquema de operación es el siguiente:

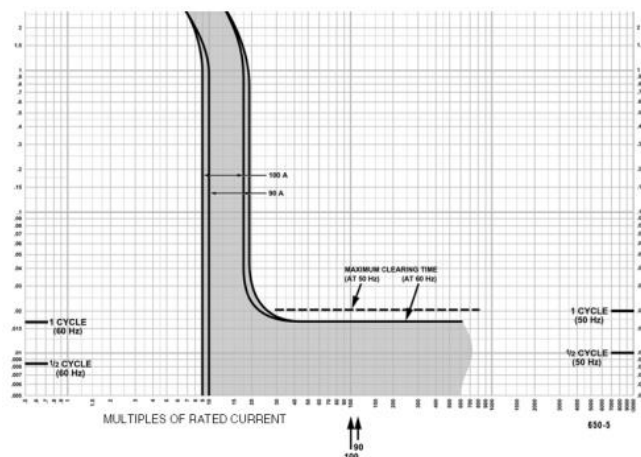


**Figura 81**  
**Relé diferencial**

El interruptor principal debe estar provisto de la bobina de disparo para falla a tierra, accesorio disponible en casi todas las líneas de interruptores.



**Figura 82**  
**Disposición de los equipos en la Bandeja**



**Figura 83**

## Lámparas o Código de Colores para la indicación de Operación en un Circuito de Control

**Tabla 4:** Códigos de colores y funciones de las luces pilotos.

<b>Código de colores</b>	<b>Función de la luz piloto</b>
rojo	Indica que el motor esta parado
verde	Indica que el motor está encendido
amarillo	Indica que se disparó la protección de sobrecara
azul	Indica que el selector está en posición on y el temporizador está contando (5min.)

### Códigos de colores y funciones de las luces pilotos

## 5. Calibración y ajuste de instrumentación industrial

### 5.1 Protocolo de pruebas de instrumentación

#### Métodos de ensayo, de calibración y validación de los métodos

##### Generalidades

El laboratorio debe aplicar métodos y procedimientos apropiados para todos los ensayos o las calibraciones dentro de su alcance. Estos incluyen el muestreo, la manipulación, el transporte, el almacenamiento y la preparación de los ítems a ensayar o a calibrar y, cuando corresponda, la estimación de la incertidumbre de la medición así como técnicas estadísticas para el análisis de los datos de los ensayos o de las calibraciones.

El laboratorio debe tener instrucciones para el uso y el funcionamiento de todo el equipamiento pertinente, y para la manipulación y la preparación de los ítems a ensayar o a calibrar, o ambos, cuando la ausencia de tales instrucciones pudiera comprometer

los resultados de los ensayos o de las calibraciones. Todas las instrucciones, normas, manuales y datos de referencia correspondientes al trabajo del laboratorio se deben mantener actualizados y deben estar fácilmente disponibles para el personal. Las desviaciones respecto de los métodos de ensayo y de calibración deben ocurrir solamente si la desviación ha sido documentada, justificada técnicamente, autorizada y aceptada por el cliente.

NOTA No es necesario anexar o volver a escribir bajo la forma de procedimientos internos las normas internacionales, regionales o nacionales, u otras especificaciones reconocidas que contienen información suficiente y concisa para realizar los ensayos o las calibraciones, si dichas normas están redactadas de forma tal que puedan ser utilizadas, como fueron publicadas, por el personal operativo de un laboratorio. Puede ser necesario proveer documentación adicional para los pasos opcionales del método o para los detalles complementarios.

### **Selección de los métodos**

El laboratorio debe utilizar los métodos de ensayo o de calibración, incluidos los de muestreo, que satisfagan las necesidades del cliente y que sean apropiados para los ensayos o las calibraciones que realiza. Se deben utilizar preferentemente los métodos publicados como normas internacionales, regionales o nacionales. El laboratorio debe asegurarse de que utiliza la última versión vigente de la norma, a menos que no sea apropiado o posible. Cuando sea necesario, la norma debe ser complementada con detalles adicionales para asegurar una aplicación coherente.

Cuando el cliente no especifique el método a utilizar, el laboratorio debe seleccionar los métodos apropiados que hayan sido publicados en normas internacionales, regionales o nacionales, por organizaciones técnicas reconocidas, o en libros o revistas científicas especializados, o especificados por el fabricante del equipo. También se pueden utilizar los métodos desarrollados por el laboratorio o los métodos adoptados por el laboratorio si son apropiados para el uso previsto y si han sido validados. El cliente debe ser informado del método elegido. El laboratorio debe confirmar que puede aplicar correctamente los métodos normalizados antes de utilizarlos para los ensayos o las calibraciones. Si el método normalizado cambia, se debe repetir la confirmación.

Si el método propuesto por el cliente se considera inapropiado o desactualizado, el laboratorio debe informárselo.

### **Métodos desarrollados por el laboratorio**

La introducción de los métodos de ensayo y de calibración desarrollados por el laboratorio para su propio uso debe ser una actividad planificada y debe ser asignada a personal calificado, provisto de los recursos adecuados.

Los planes deben ser actualizados a medida que avanza el desarrollo y se debe asegurar una comunicación eficaz entre todo el personal involucrado.

## Métodos no normalizados

Cuando sea necesario utilizar métodos no normalizados, éstos deben ser acordados con el cliente y deben incluir una especificación clara de los requisitos del cliente y del objetivo del ensayo o de la calibración. El método desarrollado debe haber sido validado adecuadamente antes del uso.

NOTA Para los métodos de ensayo o de calibración nuevos es conveniente elaborar procedimientos antes de la realización de los ensayos o las calibraciones, los cuales deberían contener, como mínimo, la información siguiente:

- el alcance;
- la descripción del tipo de ítem a ensayar o a calibrar;
- los parámetros o las magnitudes y los rangos a ser determinados;
- los aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento;
- los patrones de referencia y los materiales de referencia requeridos;
- las condiciones ambientales requeridas y cualquier período de estabilización que sea necesario.
- la descripción del procedimiento, incluida la siguiente información:
- la colocación de las marcas de identificación, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de los ítems;
- las verificaciones a realizar antes de comenzar el trabajo;
- la verificación del correcto funcionamiento de los equipos y, cuando corresponda, su calibración y ajuste antes de cada uso;
- el método de registro de las observaciones y de los resultados;
- las medidas de seguridad a observar.
- los criterios o requisitos para la aprobación o el rechazo;
- los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación;
- la incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre.

## Validación de los métodos

La validación es la confirmación, a través del examen y el aporte de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto. El laboratorio debe validar los métodos no normalizados, los métodos que diseña o desarrolla, los métodos normalizados empleados fuera del alcance previsto, así como las ampliaciones y modificaciones de los métodos normalizados, para confirmar que los métodos son aptos para el fin previsto. La validación debe ser tan amplia como sea necesario para satisfacer las necesidades del tipo de aplicación o del campo de aplicación dados. El laboratorio debe registrar los resultados obtenidos, el procedimiento utilizado para la validación y una declaración sobre la aptitud del método para el uso previsto.

NOTA 1 La validación puede incluir los procedimientos para el muestreo, la manipulación y el transporte.

NOTA 2 Es conveniente utilizar una o varias de las técnicas siguientes para la determinación del desempeño de un método:

- calibración utilizando patrones de referencia o materiales de referencia;
- comparación con resultados obtenidos con otros métodos;
- comparaciones interlaboratorios;
- evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado;
- evaluación de la incertidumbre de los resultados basada en el conocimiento científico de los principios teóricos del método y en la experiencia práctica.

NOTA 3 Cuando se introduzca algún cambio en los métodos no normalizados validados, es conveniente que se documente la influencia de dichos cambios y, si correspondiera, se realice una nueva validación.

La gama y la exactitud de los valores que se obtienen empleando métodos validados (por ejemplo, la incertidumbre de los resultados, el límite de detección, la selectividad del método, la linealidad, el límite de repetibilidad o de reproducibilidad, la robustez ante influencias externas o la sensibilidad cruzada frente a las interferencias provenientes de la matriz de la muestra o del objeto de ensayo) tal como fueron fijadas para el uso previsto, deben responder a las necesidades de los clientes.

NOTA 1 La validación incluye la especificación de los requisitos, la determinación de las características de los métodos, una verificación de que los requisitos pueden satisfacerse utilizando el método, y una declaración sobre la validez.

NOTA 2 A medida que se desarrolla el método, es conveniente realizar revisiones periódicas para verificar que se siguen satisfaciendo las necesidades del cliente. Es conveniente que todo cambio en los requisitos que requiera modificaciones en el plan de desarrollo sea aprobado y autorizado.

NOTA 3 La validación es siempre un equilibrio entre los costos, los riesgos y las posibilidades técnicas. Existen muchos casos en los que la gama y la incertidumbre de los valores (por ejemplo, la exactitud, el límite de detección, la selectividad, la linealidad, la repetibilidad, la reproducibilidad, la robustez y la sensibilidad cruzada) sólo pueden ser dadas en una forma simplificada debido a la falta de información.

## **Estimación de la incertidumbre de la medición**

Un laboratorio de calibración, o un laboratorio de ensayo que realiza sus propias calibraciones, deben tener y debe aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de la medición para todas las calibraciones y todos los tipos de calibraciones.

Los laboratorios de ensayo deben tener y deben aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición. En algunos casos la naturaleza del método de ensayo puede excluir un cálculo riguroso, metrológicamente y estadísticamente válido, de la incertidumbre de medición. En estos casos el laboratorio debe, por lo menos, tratar de identificar todos los componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable, y debe asegurarse de que la forma de informar el resultado no dé una impresión equivocada de la incertidumbre.

Una estimación razonable se debe basar en un conocimiento del desempeño del método y en el alcance de la medición y debe hacer uso, por ejemplo, de la experiencia adquirida y de los datos de validación anteriores.

**NOTA 1** El grado de rigor requerido en una estimación de la incertidumbre de la medición depende de factores tales como:

- los requisitos del método de ensayo;
- los requisitos del cliente;
- la existencia de límites estrechos en los que se basan las decisiones sobre la conformidad con una especificación.

**NOTA 2** En aquellos casos en los que un método de ensayo reconocido especifique límites para los valores de las principales fuentes de incertidumbre de la medición y establezca la forma de presentación de los resultados calculados, se considera que el laboratorio ha satisfecho este requisito si sigue el método de ensayo y las instrucciones para informar de los resultados.

Cuando se estima la incertidumbre de la medición, se deben tener en cuenta todos los componentes de la incertidumbre que sean de importancia en la situación dada, utilizando métodos apropiados de análisis.

**NOTA 1** Las fuentes que contribuyen a la incertidumbre incluyen, pero no se limitan necesariamente, a los patrones de referencia y los materiales de referencia utilizados, los métodos y equipos utilizados, las condiciones ambientales, las propiedades y la condición del ítem sometido al ensayo o la calibración, y el operador.

**NOTA 2** Cuando se estima la incertidumbre de medición, normalmente no se tiene en cuenta el comportamiento previsto a largo plazo del ítem ensayado o calibrado.

**NOTA 3** Para mayor información consúltase la Norma ISO 5725 y la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición (véase la bibliografía).

## Control de los datos

Los cálculos y la transferencia de los datos deben estar sujetos a verificaciones adecuadas llevadas a cabo de una manera sistemática.

Cuando se utilicen computadoras o equipos automatizados para captar, procesar, registrar, informar, almacenar o recuperar los datos de los ensayos o de las calibraciones, el laboratorio debe asegurarse de que:

- a) el software desarrollado por el usuario esté documentado con el detalle suficiente y haya sido convenientemente validado, de modo que se pueda asegurar que es adecuado para el uso;
- b) se establecen e implementan procedimientos para proteger los datos; tales procedimientos deben incluir, pero no limitarse a, la integridad y la confidencialidad de la entrada o recopilación de los datos, su almacenamiento, transmisión y procesamiento;
- c) se hace el mantenimiento de las computadoras y equipos automatizados con el fin de asegurar que funcionan adecuadamente y que se encuentran en las condiciones ambientales y de operación necesarias para preservar la integridad de los datos de ensayo o de calibración.

NOTA El software comercial (por ejemplo, un procesador de texto, una base de datos y los programas estadísticos) de uso generalizado en el campo de aplicación para el cual fue diseñado, se puede considerar suficientemente validado. Sin embargo, es conveniente que la configuración y las modificaciones del software del laboratorio se validen como se indica en.

## Equipos

El laboratorio debe estar provisto con todos los equipos para el muestreo, la medición y el ensayo, requeridos para la correcta ejecución de los ensayos o de las calibraciones (incluido el muestreo, la preparación de los ítems de ensayo o de calibración y el procesamiento y análisis de los datos de ensayo o de calibración). En aquellos casos en los que el laboratorio necesite utilizar equipos que estén fuera de su control permanente, debe asegurarse de que se cumplan los requisitos de esta Norma Internacional.

Los equipos y su software utilizado para los ensayos, las calibraciones y el muestreo deben permitir lograr la exactitud requerida y deben cumplir con las especificaciones pertinentes para los ensayos o las calibraciones concernientes. Se deben establecer programas de calibración para las magnitudes o los valores esenciales de los instrumentos cuando dichas propiedades afecten significativamente a los resultados. Antes de poner en servicio un equipo (incluido el utilizado para el muestreo) se lo debe calibrar o verificar con el fin de asegurar que responde a las exigencias especificadas

del laboratorio y cumple las especificaciones normalizadas pertinentes. El equipo debe ser verificado o calibrado antes de su uso.

Los equipos deben ser operados por personal autorizado. Las instrucciones actualizadas sobre el uso y el mantenimiento de los equipos (incluido cualquier manual pertinente suministrado por el fabricante del equipo) deben estar disponibles para ser utilizadas por el personal del laboratorio.

Cada equipo y su software utilizado para los ensayos y las calibraciones, que sea importante para el resultado, debe, en la medida de lo posible, estar unívocamente identificado.

Se deben establecer registros de cada componente del equipamiento y su software que sea importante para la realización de los ensayos o las calibraciones. Los registros deben incluir por lo menos lo siguiente:

- a) la identificación del equipo y su software;
- b) el nombre del fabricante, la identificación del modelo, el número de serie u otra identificación única;
- c) las verificaciones de la conformidad del equipo con la especificación (véase 5.5.2);
- d) la ubicación actual, cuando corresponda;
- e) las instrucciones del fabricante, si están disponibles, o la referencia a su ubicación;
- f) las fechas, los resultados y las copias de los informes y de los certificados de todas las calibraciones, los ajustes, los criterios de aceptación, y la fecha prevista de la próxima calibración;
- g) el plan de mantenimiento, cuando corresponda, y el mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha;
- h) todo daño, mal funcionamiento, modificación o reparación del equipo.

El laboratorio debe tener procedimientos para la manipulación segura, el transporte, el almacenamiento, el uso y el mantenimiento planificado de los equipos de medición con el fin de asegurar el funcionamiento correcto y de prevenir la contaminación o el deterioro.

NOTA Pueden ser necesarios procedimientos adicionales cuando los equipos de medición se utilicen fuera de las instalaciones permanentes del laboratorio para los ensayos, las calibraciones o el muestreo.

Los equipos que hayan sido sometidos a una sobrecarga o a un uso inadecuado, que den resultados dudosos, o se haya demostrado que son defectuosos o que están fuera de los límites especificados, deben ser puestos fuera de servicio. Se deben aislar para evitar su uso o se deben rotular o marcar claramente como que están fuera de servicio hasta que hayan sido reparados y se haya demostrado por calibración o ensayo que funcionan correctamente. El laboratorio debe examinar el efecto del defecto o desvío de

los límites especificados en los ensayos o las calibraciones anteriores y debe aplicar el procedimiento de "control del trabajo no conforme".

Cuando sea posible, todos los equipos bajo el control del laboratorio que requieran una calibración, deben ser rotulados, codificados o identificados de alguna manera para indicar el estado de calibración, incluida la fecha en la que fueron calibrados por última vez y su fecha de vencimiento o el criterio para la próxima calibración.

Cuando, por cualquier razón, el equipo quede fuera del control directo del laboratorio, éste debe asegurarse de que se verifican el funcionamiento y el estado de calibración del equipo y de que son satisfactorios, antes de que el equipo sea reintegrado al servicio.

Cuando se necesiten comprobaciones intermedias para mantener la confianza en el estado de calibración de los equipos, éstas se deben efectuar según un procedimiento definido.

Cuando las calibraciones den lugar a un conjunto de factores de corrección, el laboratorio debe tener procedimientos para asegurarse de que las copias (por ejemplo, en el software), se actualizan correctamente.

Se deben proteger los equipos de ensayo y de calibración, tanto el hardware como el software, contra ajustes que pudieran invalidar los resultados de los ensayos o de las calibraciones.

## **Trazabilidad de las mediciones**

### **Generalidades**

Todos los equipos utilizados para los ensayos o las calibraciones, incluidos los equipos para mediciones auxiliares (por ejemplo, de las condiciones ambientales) que tengan un efecto significativo en la exactitud o en la validez del resultado del ensayo, de la calibración o del muestreo, deben ser calibrados antes de ser puestos en servicio. El laboratorio debe establecer un programa y un procedimiento para la calibración de sus equipos.

NOTA Es conveniente que dicho programa incluya un sistema para seleccionar, utilizar, calibrar, verificar, controlar y mantener los patrones de medición, los materiales de referencia utilizados como patrones de medición, y los equipos de ensayo y de medición utilizados para realizar los ensayos y las calibraciones.

## Requisitos específicos

### Calibración

Para los laboratorios de calibración, el programa de calibración de los equipos debe ser diseñado y operado de modo que se asegure que las calibraciones y las mediciones hechas por el laboratorio sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Un laboratorio de calibración establece la trazabilidad de sus propios patrones de medición e instrumentos de medición al sistema SI por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones o de comparaciones que los vinculen a los pertinentes patrones primarios de las unidades de medida SI. La vinculación a las unidades SI se puede lograr por referencia a los patrones de medición nacionales. Los patrones de medición nacionales pueden ser patrones primarios, que son realizaciones primarias de las unidades SI o representaciones acordadas de las unidades SI, basadas en constantes físicas fundamentales, o pueden ser patrones secundarios, que son patrones calibrados por otro instituto nacional de metrología. Cuando se utilicen servicios de calibración externos, se debe asegurar la trazabilidad de la medición mediante el uso de servicios de calibración provistos por laboratorios que puedan demostrar su competencia y su capacidad de medición y trazabilidad. Los certificados de calibración emitidos por estos laboratorios deben contener los resultados de la medición, incluida la incertidumbre de la medición o una declaración sobre la conformidad con una especificación metrológica identificada (véase también).

**NOTA 1** Los laboratorios de calibración que cumplen esta Norma Internacional son considerados competentes. Un certificado de calibración que lleve el logotipo de un organismo de acreditación, emitido por un laboratorio de calibración acreditado según esta Norma Internacional para la calibración concerniente, es suficiente evidencia de la trazabilidad de los datos de calibración contenidos en el informe.

**NOTA 2** La trazabilidad a las unidades de medida SI se puede lograr mediante referencia a un patrón primario apropiado o mediante referencia a una constante natural, cuyo valor en términos de la unidad SI pertinente es conocido y recomendado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM).

**NOTA 3** Los laboratorios de calibración que mantienen su propio patrón primario o la propia representación de las unidades SI basada en constantes físicas fundamentales, pueden declarar trazabilidad al sistema SI sólo después de que estos patrones hayan sido comparados, directa o indirectamente, con otros patrones similares de un instituto nacional de metrología.

**NOTA 4** La expresión “especificación metrológica identificada” significa que la especificación con la que se compararon las mediciones debe surgir claramente del certificado de calibración, el cual incluirá dicha especificación o hará referencia a ella de manera no ambigua.

NOTA 5 Cuando los términos “patrón internacional” o “patrón nacional” son utilizados en conexión con la trazabilidad, se supone que estos patrones cumplen las propiedades de los patrones primarios para la realización de las unidades SI.

NOTA 6 La trazabilidad a patrones de medición nacionales no necesariamente requiere el uso del instituto nacional de metrología del país en el que el laboratorio está ubicado.

NOTA 7 Si un laboratorio de calibración desea o necesita obtener trazabilidad de un instituto nacional de metrología distinto del de su propio país, es conveniente que este laboratorio seleccione un instituto nacional de metrología que participe activamente en las actividades de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, ya sea directamente o a través de grupos regionales.

NOTA 8 La cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones se puede lograr en varios pasos llevados a cabo por diferentes laboratorios que pueden demostrar la trazabilidad.

Existen ciertas calibraciones que actualmente no se pueden hacer estrictamente en unidades SI. En estos casos la calibración debe proporcionar confianza en las mediciones al establecer la trazabilidad a patrones de medición apropiados, tales como:

- el uso de materiales de referencia certificados provistos por un proveedor competente con el fin de caracterizar física o químicamente un material de manera confiable;
- la utilización de métodos especificados o de normas consensuadas, claramente descritos y acordados por todas las partes concernientes.
- Siempre que sea posible se requiere la participación en un programa adecuado de comparaciones interlaboratorios.

## Ensayos

Para los laboratorios de ensayo, los requisitos dados se aplican a los equipos de medición y de ensayo con funciones de medición que utiliza, a menos que se haya establecido que la incertidumbre introducida por la calibración contribuye muy poco a la incertidumbre total del resultado de ensayo. Cuando se dé esta situación, el laboratorio debe asegurarse de que el equipo utilizado puede proveer la incertidumbre de medición requerida.

NOTA El grado de cumplimiento de los requisitos indicados depende de la contribución relativa de la incertidumbre de la calibración a la incertidumbre total. Si la calibración es el factor dominante, es conveniente que se sigan estrictamente los requisitos.

Cuando la trazabilidad de las mediciones a las unidades SI no sea posible o no sea pertinente, se deben exigir los mismos requisitos para la trazabilidad (por ejemplo, por medio de materiales de referencia certificados, métodos acordados o normas consensuadas) que para los laboratorios de calibración.

### **5.1.1 Patrones de referencia y materiales de referencia**

#### **Patrones de referencia**

El laboratorio debe tener un programa y un procedimiento para la calibración de sus patrones de referencia. Los patrones de referencia deben ser calibrados por un organismo que pueda proveer la trazabilidad como se indica en dichos patrones de referencia para la medición, conservados por el laboratorio, deben ser utilizados sólo para la calibración y para ningún otro propósito, a menos que se pueda demostrar que su desempeño como patrones de referencia no será invalidado. Los patrones de referencia deben ser calibrados antes y después de cualquier ajuste.

#### **Materiales de referencia**

Cada vez que sea posible se debe establecer la trazabilidad de los materiales de referencia a las unidades de medida SI o a materiales de referencia certificados. Los materiales de referencia internos deben ser verificados en la medida que sea técnica y económicamente posible.

#### **Verificaciones intermedias**

Se deben llevar a cabo las verificaciones que sean necesarias para mantener la confianza en el estado de calibración de los patrones de referencia, primarios, de transferencia o de trabajo y de los materiales de referencia de acuerdo con procedimientos y una programación definidos.

### **5.1.2 Transporte y almacenamiento**

El laboratorio debe tener procedimientos para la manipulación segura, el transporte, el almacenamiento y el uso de los patrones de referencia y materiales de referencia con el fin de prevenir su contaminación o deterioro y preservar su integridad.

NOTA Pueden ser necesarios procedimientos adicionales cuando los patrones de referencia y los materiales de referencia son utilizados fuera de las instalaciones permanentes del laboratorio para los ensayos, las calibraciones o el muestreo.

#### **Muestreo**

El laboratorio debe tener un plan y procedimientos para el muestreo cuando efectúe el muestreo de sustancias, materiales o productos que luego ensaye o calibre. El plan y el procedimiento para el muestreo deben estar disponibles en el lugar donde se realiza el muestreo. Los planes de muestreo deben, siempre que sea razonable, estar basados en métodos estadísticos apropiados. El proceso de muestreo debe tener en cuenta los factores que deben ser controlados para asegurar la validez de los resultados de ensayo y de calibración.

NOTA 1 El muestreo es un procedimiento definido por el cual se toma una parte de una sustancia, un material o un producto para proveer una muestra representativa del total, para el ensayo o la calibración. El muestreo también puede ser requerido por la especificación pertinente según la cual se ensayará o calibrará la sustancia, el material o el producto. En algunos casos (por ejemplo, en el análisis forense), la muestra puede no ser representativa, sino estar determinada por su disponibilidad.

**NOTA 2** Es conveniente que los procedimientos de muestreo describan el plan de muestreo, la forma de seleccionar, extraer y preparar una o más muestras a partir de una sustancia, un material o un producto para obtener la información requerida.

Cuando el cliente requiera desviaciones, adiciones o exclusiones del procedimiento de muestreo documentado, éstas deben ser registradas en detalle junto con los datos del muestreo correspondiente e incluidas en todos los documentos que contengan los resultados de los ensayos o de las calibraciones y deben ser comunicadas al personal concerniente.

El laboratorio debe tener procedimientos para registrar los datos y las operaciones relacionados con el muestreo que forma parte de los ensayos o las calibraciones que lleva a cabo. Estos registros deben incluir el procedimiento de muestreo utilizado, la identificación de la persona que lo realiza, las condiciones ambientales (si corresponde) y los diagramas u otros medios equivalentes para identificar el lugar del muestreo según sea necesario y, si fuera apropiado, las técnicas estadísticas en las que se basan los procedimientos de muestreo.

### **Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración**

El laboratorio debe tener procedimientos para el transporte, la recepción, la manipulación, la protección, el almacenamiento, la conservación o la disposición final de los ítems de ensayo o de calibración, incluidas todas las disposiciones necesarias para proteger la integridad del ítem de ensayo o de calibración, así como los intereses del laboratorio y del cliente.

El laboratorio debe tener un sistema para la identificación de los ítems de ensayo o de calibración. La identificación debe conservarse durante la permanencia del ítem en el laboratorio. El sistema debe ser diseñado y operado de modo tal que asegure que los ítems no puedan ser confundidos físicamente ni cuando se haga referencia a ellos en registros u otros documentos. Cuando corresponda, el sistema debe prever una subdivisión en grupos de ítems y la transferencia de los ítems dentro y desde el laboratorio.

Al recibir el ítem para ensayo o calibración, se deben registrar las anomalías o los desvíos en relación con las condiciones normales o especificadas, según se describen en el correspondiente método de ensayo o de calibración. Cuando exista cualquier duda respecto a la adecuación de un ítem para un ensayo o una calibración, o cuando un ítem no cumpla con la descripción provista, o el ensayo o calibración requerido no esté especificado con suficiente detalle, el laboratorio debe solicitar al cliente instrucciones adicionales antes de proceder y debe registrar lo tratado.

El laboratorio debe tener procedimientos e instalaciones apropiadas para evitar el deterioro, la pérdida o el daño del ítem de ensayo o de calibración durante el almacenamiento, la manipulación y la preparación. Se deben seguir las instrucciones para la manipulación provistas con el ítem. Cuando los ítems deban ser almacenados o

acondicionados bajo condiciones ambientales especificadas, debe realizarse el mantenimiento, seguimiento y registro de estas condiciones. Cuando un ítem o una parte de un ítem para ensayo o calibración debe mantenerse seguro, el laboratorio debe tener disposiciones para el almacenamiento y la seguridad que protejan la condición e integridad del ítem o de las partes en cuestión.

**NOTA 1** Cuando los ítems de ensayo tengan que ser devueltos al servicio después del ensayo, se debe poner un cuidado especial para asegurarse de que no son dañados ni deteriorados durante los procesos de manipulación, ensayo, almacenamiento o espera.

**NOTA 2** Es recomendable proporcionar a todos aquellos responsables de extraer y transportar las muestras, un procedimiento de muestreo, así como información sobre el almacenamiento y el transporte de las muestras, incluida información sobre los factores de muestreo que influyen en el resultado del ensayo o la calibración.

**NOTA 3** Los motivos para conservar en forma segura un ítem de ensayo o de calibración pueden ser por razones de registro, protección o valor, o para permitir realizar posteriormente ensayos o calibraciones complementarios.

### **5.1.3 Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración**

El laboratorio debe tener procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones llevados a cabo. Los datos resultantes deben ser registrados en forma tal que se puedan detectar las tendencias y, cuando sea posible, se deben aplicar técnicas estadísticas para la revisión de los resultados. Dicho seguimiento debe ser planificado y revisado y puede incluir, entre otros, los elementos siguientes:

- a) el uso regular de materiales de referencia certificados o un control de la calidad interno utilizando materiales de referencia secundarios;
- b) la participación en comparaciones interlaboratorios o programas de ensayos de aptitud;
- c) la repetición de ensayos o calibraciones utilizando el mismo método o métodos diferentes;
- d) la repetición del ensayo o de la calibración de los objetos retenidos;
- e) la correlación de los resultados para diferentes características de un ítem.

**NOTA** Es conveniente que los métodos seleccionados sean apropiados para el tipo y volumen de trabajo que se realiza.

Los datos de control de la calidad deben ser analizados y, si no satisfacen los criterios predefinidos, se deben tomar las acciones planificadas para corregir el problema y evitar consignar resultados incorrectos.

## 5.1.4 Informe de los resultados

### Generalidades

Los resultados de cada ensayo, calibración o serie de ensayos o calibraciones efectuados por el laboratorio, deben ser informados en forma exacta, clara, no ambigua y objetiva, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo o de calibración.

Los resultados deben ser informados, por lo general en un informe de ensayo o un certificado de calibración (véase la nota 1) y deben incluir toda la información requerida por el cliente y necesaria para la interpretación de los resultados del ensayo o de la calibración, así como toda la información requerida por el método utilizado. Esta información es normalmente la requerida en los apartados.

En el caso de ensayos o calibraciones realizados para clientes internos, o en el caso de un acuerdo escrito con el cliente, los resultados pueden ser informados en forma simplificada. Cualquier información indicada en los apartados que no forme parte de un informe al cliente, debe estar fácilmente disponible en el laboratorio que efectuó los ensayos o las calibraciones.

NOTA 1 Los informes de ensayo y los certificados de calibración a veces se denominan certificados de ensayo e informes de calibración, respectivamente.

NOTA 2 Los informes de ensayo o certificados de calibración pueden ser entregados como copia en papel o por transferencia electrónica de datos siempre que se cumplan los requisitos de esta Norma Internacional.

### Informes de ensayos y certificados de calibración

Cada informe de ensayo o certificado de calibración debe incluir la siguiente información, salvo que el laboratorio tenga razones válidas para no hacerlo así:

- a) Un título (por ejemplo, “Informe de ensayo” o “Certificado de calibración”);
- b) El nombre y la dirección del laboratorio y el lugar donde se realizaron los ensayos o las calibraciones, si fuera diferente de la dirección del laboratorio;
- c) Una identificación única del informe de ensayo o del certificado de calibración (tal como el número de serie) y en cada página una identificación para asegurar que la página es reconocida como parte del informe de ensayo o del certificado de calibración, y una clara identificación del final del informe de ensayo o del certificado de calibración;
- d) El nombre y la dirección del cliente;
- e) La identificación del método utilizado;
- f) Una descripción, la condición y una identificación no ambigua del o de los ítems ensayados o calibrados;
- g) La fecha de recepción del o de los ítems sometidos al ensayo o a la calibración, cuando ésta sea esencial para la validez y la aplicación de los resultados, y la fecha de ejecución del ensayo o la calibración;

- h) Una referencia al plan y a los procedimientos de muestreo utilizados por el laboratorio u otros organismos, cuando éstos sean pertinentes para la validez o la aplicación de los resultados;
- i) Los resultados de los ensayos o las calibraciones con sus unidades de medida, cuando corresponda;
- j) El o los nombres, funciones y firmas o una identificación equivalente de la o las personas que autorizan el informe de ensayo o el certificado de calibración;
- k) Cuando corresponda, una declaración de que los resultados sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

NOTA 1 Es conveniente que las copias en papel de los informes de ensayo y certificados de calibración también incluyan el número de página y el número total de páginas.

NOTA 2 Se recomienda a los laboratorios incluir una declaración indicando que no se debe reproducir el informe de ensayo o el certificado de calibración, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

## Informes de ensayos

Además de los requisitos indicados, los informes de ensayos deben incluir, en los casos en que sea necesario para la interpretación de los resultados de los ensayos, lo siguiente:

- a) las desviaciones, adiciones o exclusiones del método de ensayo e información sobre condiciones de ensayo específicas, tales como las condiciones ambientales;
- b) cuando corresponda, una declaración sobre el cumplimiento o no cumplimiento con los requisitos o las especificaciones;
- c) cuando sea aplicable, una declaración sobre la incertidumbre de medición estimada; la información sobre la incertidumbre es necesaria en los informes de ensayo cuando sea pertinente para la validez o aplicación de los resultados de los ensayos, cuando así lo requieran las instrucciones del cliente, o cuando la incertidumbre afecte al cumplimiento con los límites de una especificación;
- d) cuando sea apropiado y necesario, las opiniones e interpretaciones;
- e) la información adicional que pueda ser requerida por métodos específicos, clientes o grupos de clientes.
- f) Además de los requisitos indicados en los apartados, los informes de ensayo que contengan los resultados del muestreo, deben incluir lo siguiente, cuando sea necesario para la interpretación de los resultados de los ensayos:
  - g) la fecha del muestreo;
  - h) una identificación inequívoca de la sustancia, el material o el producto muestreado (incluido el nombre del fabricante, el modelo o el tipo de designación y los números de serie, según corresponda);
  - i) el lugar del muestreo, incluido cualquier diagrama, croquis o fotografía;
  - j) una referencia al plan y a los procedimientos de muestreo utilizados;

- k) los detalles de las condiciones ambientales durante el muestreo que puedan afectar a la interpretación de los resultados del ensayo;
- l) cualquier norma o especificación sobre el método o el procedimiento de muestreo, y las desviaciones, adiciones o exclusiones de la especificación concerniente.

### **Certificados de calibración**

Además de los requisitos indicados en el apartado, los certificados de calibración deben incluir, cuando sea necesario para la interpretación de los resultados de la calibración, lo siguiente:

- a) las condiciones (por ejemplo, ambientales) bajo las cuales fueron hechas las calibraciones y que tengan una influencia en los resultados de la medición;
- b) la incertidumbre de la medición o una declaración de cumplimiento con una especificación metrológica identificada o con partes de ésta;
- c) evidencia de que las mediciones son trazables

El certificado de calibración sólo debe estar relacionado con las magnitudes y los resultados de los ensayos funcionales. Si se hace una declaración de la conformidad con una especificación, ésta debe identificar los capítulos de la especificación que se cumplen y los que no se cumplen.

Cuando se haga una declaración de la conformidad con una especificación omitiendo los resultados de la medición y las incertidumbres asociadas, el laboratorio debe registrar dichos resultados y mantenerlos para una posible referencia futura.

Cuando se hagan declaraciones de cumplimiento, se debe tener en cuenta la incertidumbre de la medición.

Cuando un instrumento para calibración ha sido ajustado o reparado, se deben informar los resultados de la calibración antes y después del ajuste o la reparación, si estuvieran disponibles.

Un certificado de calibración (o etiqueta de calibración) no debe contener ninguna recomendación sobre el intervalo de calibración, excepto que esto haya sido acordado con el cliente. Este requisito puede ser reemplazado por disposiciones legales.

### **5.1.5 Opiniones e interpretaciones**

Cuando se incluyan opiniones e interpretaciones, el laboratorio debe asentar por escrito las bases que respaldan dichas opiniones e interpretaciones. Las opiniones e interpretaciones deben estar claramente identificadas como tales en un informe de ensayo.

NOTA 1 Es conveniente no confundir las opiniones e interpretaciones con las inspecciones y las certificaciones de producto establecidas en la Norma ISO/IEC 17020 y la Guía ISO/IEC 65.

NOTA 2 Las opiniones e interpretaciones incluidas en un informe de ensayo pueden consistir en, pero no limitarse a, lo siguiente:

- una opinión sobre la declaración de la conformidad o no conformidad de los resultados con los requisitos;
- cumplimiento con los requisitos contractuales;
- recomendaciones sobre la forma de utilizar los resultados;
- recomendaciones a seguir para las mejoras.

NOTA 3 En muchos casos podría ser apropiado comunicar las opiniones e interpretaciones a través del diálogo directo con el cliente. Es conveniente que dicho diálogo se registre por escrito.

### **Resultados de ensayo y calibración obtenidos de los subcontratistas**

Cuando el informe de ensayo contenga resultados de ensayos realizados por los subcontratistas, estos resultados deben estar claramente identificados. El subcontratista debe informar sobre los resultados por escrito o electrónicamente.

Cuando se haya subcontratado una calibración, el laboratorio que efectúa el trabajo debe remitir el certificado de calibración al laboratorio que lo contrató.

### **Transmisión electrónica de los resultados**

En el caso que los resultados de ensayo o de calibración se transmitan por teléfono, télex, facsímil u otros medios electrónicos o electromagnéticos, se deben cumplir los requisitos de esta Norma Internacional.

### **Presentación de los informes y de los certificados**

La presentación elegida debe ser concebida para responder a cada tipo de ensayo o de calibración efectuado y para minimizar la posibilidad de mala interpretación o mal uso.

NOTA 1 Es conveniente prestar atención a la forma de presentar informe de ensayo o certificado de calibración, especialmente con respecto a la presentación de los datos de ensayo o calibración y a la facilidad de asimilación por el lector.

NOTA 2 Es conveniente que los encabezados sean normalizados, tanto como sea posible.

### **Modificaciones a los informes de ensayo y a los certificados de calibración**

Las modificaciones de fondo a un informe de ensayo o certificado de calibración después de su emisión deben ser hechas solamente en la forma de un nuevo documento, o de una transferencia de datos, que incluya la declaración:

“Suplemento al Informe de Ensayo” (o “Certificado de Calibración”), número de serie... [u otra identificación]”, o una forma equivalente de redacción.

Dichas correcciones deben cumplir con todos los requisitos de esta Norma Internacional.

Cuando sea necesario emitir un nuevo informe de ensayo o certificado de calibración completo, éste debe ser unívocamente identificado y debe contener una referencia al original al que reemplaza.

### **5.1.6 Lista de verificación de instrumentación**

### **5.1.7 Realizar Mantenimiento Eléctrico de los Tableros de Distribución, Fuerza y Control**

Mantenimiento de Resistencias

Medición de Resistencias de Aislamiento de Conductores con Megger

Medición de Resistencia de Contactos de Contactores con Instrumentos para Medir Resistencias Bajas

Medición de Resistencia Ohmica de los elementos del tablero

Pruebas de Generador

Pruebas de Motor

## Instrumentos

- Hipot
- Medidor de Aislación Megger
- Medidor de Baja Resistencia (Microohmímetro)
- Bauer
- Multitester
- Pinza amperohmétrica,
- Lámpara de prueba
- Detector de Voltaje
- Instrumentos de Lazo

## 5.2 Informe de mantención

La información contenida e indicada a continuación debe ser desarrollada y almacenada en una Base de Datos electrónica, con todos los resguardos administrativos de seguridad correspondientes.

Los controles a desarrollar deben incluir los siguientes periodos de tiempo

### Semanalmente

- Comprobar la limpieza exterior de las maquinas
- Comprobar, por medio del tacto, la temperatura de las carcasas, y por medio del oído, la presencia de ruidos anormales.
- Con el sentido del olfato se apreciará el efecto de sobrecargas por alteración de los aislantes en los devanados (bobinados).
- Verificar la presencia de vibraciones en las bases de fundación y el ajuste de los bulones de anclaje.
- Examinar las escobillas, y verificar su tensión y desgaste.
- Verificar la limpieza de los canales de ventilación.
- Estando la máquina detenida y desconectada de la red de alimentación, se verificará la limpieza de los devanados.
- La limpieza de los mismos se efectuará con la ayuda de un aspirador o compresor con aporte de aire seco y limpio, y con la ayuda complementaria de trapos y pinceles.
- Se verificará también que no haya humedad acumulada en el fondo de las carcasas. Se eliminará completamente la presencia de grasa o aceite mezclados con polvo. A tal fin, se hará uso de disolventes especiales. Entre éstos es recomendable el tetracloruro de carbono, por ser un líquido no inflamable exige, no obstante, la precaución de trabajar en locales con buena ventilación y equipos de protección adecuados, pues sus emanaciones son tóxicas.
- Verificar la correcta puesta en marcha de las máquinas para comprobar si alcanzan la velocidad nominal especificada por los fabricantes.

## Mensualmente

- Comprobar la limpieza y ajuste de todas las conexiones eléctricas.
- Comprobar el ajuste y limpieza de los contactores, relevadores térmicos, etc.
- Las tapas deben estar bien apretadas para evitar la introducción de polvo y otras sustancias indeseables.
- La limpieza de los contactos de plata debe efectuarse con la ayuda de trapos secos y limpios, ligeramente embebidos en tetracloruro de carbono. Nunca debe usarse tela esmeril, pues sus partículas pueden aislar los contactos. Puede, en cambio, emplearse una lima fina y limpia, con la cual se retocarán los contactos en caso de ser ello estrictamente indispensable.
- La correcta presión de las escobillas sobre los anillos colectores debe verificarse con la ayuda de un pequeño dinamómetro. La tensión correcta es normalmente del orden de 150 g a 200 g por centímetro cuadrado.
- Reemplazar las escobillas que estén gastadas o con roturas y agrietamientos. Al efectuarse los reemplazos no debe cambiarse la calidad de las escobillas. Estas deben desgastarse en el sentido de rotación del colector y jamás en sentido normal al de rotación. En todos los casos conviene oír la opinión del fabricante referente al reemplazo más conveniente y adecuado.
- Comprobar el estado del colector por si hubiese delgas con anormalidades, micas sobresalientes, asperezas, rayaduras, recalentamientos, falsos contactos, etc.
- La limpieza debe efectuarse con un cepillo de cerda dura y después con un trapo que no desprenda hilachas y pelusas, y preferentemente embebido en un disolvente.
- En motores con servicio exigente y continuado debe extraerse la grasa vencida y reemplazarla por nueva en todos los cojinetes.

## Anualmente:

- Verificar la aislación y estado general de los devanados. En caso de ser necesario, se barnizarán los arrollamientos.
- Se eliminará todo vestigio de humedad. De ser necesario, se procederá al secado de los devanados.
- Comprobar, con la ayuda de calibres o sondas, la uniformidad del entrehierro. Las variaciones no deben exceder de  $\pm 10\%$  con relación a las tolerancias indicadas por el fabricante.
- Es fundamental verificar el estado de los cojinetes.
- Verificar la fijación de las paletas de los ventiladores.
- Comprobar la concentricidad de los colectores y proceder a tornearlos si se considera necesario. Este trabajo debe efectuarlo un operario calificado. Si la anormalidad no es muy importante, puede pulirse con papel de lija muy fino. Nunca debe emplearse tela esmeril.
- Girar el eje para observar si existen roces debido a la presencia de cuerpos extraños en el entrehierro.

- Comprobar, con un instrumento de pinza amperohmétrica, la carga que toma el motor en vacío, a plena carga y en las condiciones normales de servicio.
- La pinza amperohmétrica, el voltímetro, téster, lámpara de prueba y megóhmetro son elementos indispensables para las inspecciones de motores y generadores.
- Se verificará la aislación de los bobinados entre sí y con respecto a masa. La comparación con datos extraídos de inspecciones anteriores indicará si la aislación mejora o empeora.
- Las lecturas deben efectuarse con la máquina a temperatura normal de funcionamiento.
- El megóhmetro da directamente los valores de aislación. Para su empleo basta con seguir las instrucciones de los fabricantes. Girando a mano en vacío, el instrumento suministra una tensión constante y la aguja marca infinito. Al conectarlo a la resistencia que debe medirse y haciéndolo girar a razón de 2 o 3 vueltas por segundo, dará una lectura directa de la aislación. Las normas AIEE (American Institute of Electrical Engineers) da la fórmula para determinar el valor normal de la resistencia de aislación:
- La finalidad de probar los bobinados de corriente alterna o continua es la de poder descubrir posibles contactos a tierra, corto circuitos entre espiras, empalmes defectuosos, así como conexiones y polaridad equivocadas.

### 5.3 Manuales técnicos

Manuales Técnicos.- Principalmente corresponden a los entregados por los fabricantes, durante el montaje y puesta en servicio.

Normas de Regulación y Montaje.- El presente estudio las incluye y son las siguientes:

Norma Chilena CH:

NSEG 5.EN.71                      Reglamento de Corrientes Fuertes  
 NSEG TEL 8.En 75 Tensiones Normales para Sistemas e Instalaciones  
 NSEG TEL 14. En. 76            Empalmes Aéreos Trifásicos  
 NSEG TEL 20.En. 78            Subestaciones Transformadoras Interiores  
 NCH ELEC. 4/2003 Instalaciones de Consumo en Baja Tensión

Normas Internacionales

NFPA 70E    Norma para los Requisitos de Seguridad Eléctrica de los Empleados en los Lugares de Trabajo

ISO/IEC 17025      Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

## 5.4 Instrumentos de calibración

Hipot

Medidor de Aislación Megger

Medidor de Baja Resistencia (Microohmímetro)

Bauer

## 5.5 Probadores de lazos



**Figura 84**  
**Probador de lazos**

El principio: Cuando las pinzas están alrededor de todos los conductores, el campo magnético neto en cualquier instante a tiempo será el cero si todos los conductores rodeados por el detector de corriente de escape suministran toda la corriente entregada a y recibido de la carga. Si cualquier corriente es desviada por cualquier camino alterno, como una interrupción de aislamiento a tierra, la pérdida será detectada produciendo una salida proporcional a la amplitud del fallo de la corriente.

Aplicación.-

Mantenimiento preventivo

- Equipo reparación en sistemas de distribución eléctricos
- Gran exactitud en medidas de baja corriente
- Medidas de falla de corrientes en tres fases, sistemas de tres cables

## Calibradores de RTD

### Características

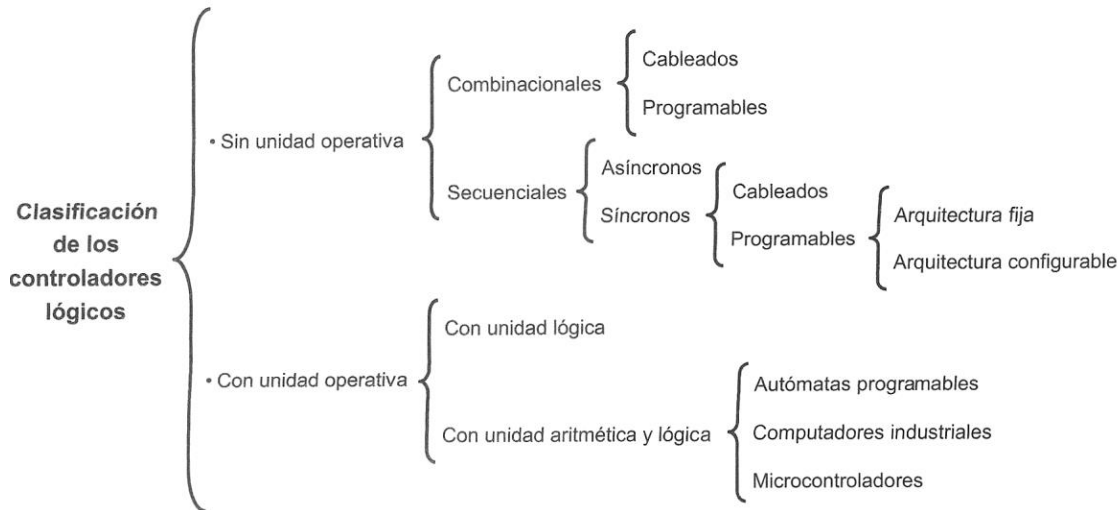
- Mide temperaturas en salidas de RTD
- Simula salidas de RTD
- Opera con 7 tipos de RTD
- Mide RTD adicionales con la función de medida de ohmios
- Simula RTD adicionales con la función de generación de ohmios
- Medidas en °F o °C
- Cuatro clavijas tipo banana con aislamiento
- Compatible con los transmisores de pulso de RTD Rosemount® (pulsos > 10 ms)



**Figura 85**

## 5.6 Controladores (stand alone, PLC y DCS)

### Clasificación de los Controladores Lógicos



**Figura 86**

### Clasificación de los controladores lógicos

#### Controladores lógicos con unidad operativa

En la década de 1960 se pusieron en evidencia las limitaciones de los sistemas digitales realizados con relés para controlar los procesos industriales, se inició la aplicación de los sistemas secuenciales cableados realizados con transistores, que se comercializaron como circuitos bloque, de los que la serie SIMATIC de Siemens y los NORBITS de Philips fueron ejemplos característicos. Pero las limitaciones de los controladores lógicos cableados y el progreso de la Microelectrónica que produjo los circuitos integrados de escala de integración media (MSI) de tecnología TTL [MAND 08] hizo que diversos fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos llevaran a cabo una investigación aplicada para diseñar controladores lógicos que poseyesen una unidad operativa y una unidad de control programable. Dichos controladores son procesadores digitales secuenciales programables que actúan sobre las variables de salida mediante la ejecución de una secuencia de instrucciones y por ello se denominan controladores lógicos programables y se les conoce por las siglas PLC (acrónimo de Programmable Logic Controller). En la actualidad se les conoce por las siglas PLC y también por la denominación de autómatas programables. La evolución de los PLC, resultado del avance de la Microelectrónica y de las técnicas de programación, ha hecho de ellos los equipos electrónicos más adecuados para automatizar cualquier proceso industrial, desde el más sencillo sistema de riego de un jardín hasta el más complejo sistema de fabricación.

## **Sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables**

Tal como se indica en el capítulo 2, la existencia de diferentes sistemas de lenguajes propietarios hizo que la Comisión Electrotécnica Internacional [I n t e r n a t i o n a l Electrotechnical Commision (IEC)], con el objetivo de responder a la complejidad creciente de los sistemas de control y a la diversidad de autómatas programables incompatibles entre sí, elaborase la norma IEC 1131-3 [LEWIS 95] [UNE 97] que está siendo paulatinamente adoptada por los diferentes fabricantes.

La norma constituye un sistema de programación que está formado por dos tipos de lenguajes de programación diferentes:

### **Lenguajes literales**

Las instrucciones de este tipo de lenguajes están formadas por letras, números y símbolos especiales. Son lenguajes de este tipo:

El lenguaje de lista de instrucciones [Instruction List (IL)].

El lenguaje de texto estructurado [Structured Text (ST)].

### **Lenguajes gráficos**

Son lenguajes en los que las instrucciones se representan mediante Figuras geométricas. Son lenguajes de este tipo:

- El lenguaje de esquema de contactos [Ladder Diagram (LD)].
- El lenguaje de diagrama de funciones [Function Block Diagram (FBD)].
- El Diagrama funcional de secuencias [Sequential Function Chart (SFC)], cuyo principal antecedente es el lenguaje GRAFCET (Grafo de control etapa-transición) desarrollado por la Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica (AF- CET). Todos estos lenguajes facilitan la labor de programación al usuario y la elección de uno u otro depende de su experiencia y conocimientos (en Electrónica Digital, Informática, implementación de sistemas de control lógico con relés, etc.), de la forma en que se especifica el problema de control a resolver y de la complejidad del mismo.

## **Características generales del sistema normalizado IEC 1131-3**

Aunque los distintos lenguajes del sistema normalizado IEC 1131-3 presentan diferencias notables entre ellos, existe un conjunto de elementos comunes a todos que es conveniente conocer previamente. A continuación se analizan algunos de los más importantes.

## Tipos de datos

Los datos constituyen la información básica con la que se realizan operaciones. En la norma IEC 1131-3 se definen los tipos de datos que se indican en la tabla siguiente:

Denominación	Bits	Ejemplo	Descripción
BOOL	1	FALSE o TRUE	Variable binaria o lógica ( <i>Boolean</i> )
INT	16	-32768 .. 32767	Número entero con signo ( <i>Integer</i> )
UINT	16	0 .. 65535	Número entero sin signo
REAL	32	0.4560	Número real
BYTE	8	0.. 255	Conjunto de 8 bits ( <i>Byte</i> )
WORD	16	0 .. 65535	Conjunto de 16 bits ( <i>word</i> )
DWORD	32	0.. 2 <sup>32</sup> - 1	Conjunto de 32 bits ( <i>Double Word</i> )
TIME		T#5d4h2m38s3.5ms	Duración
DATE		D#2002-01-01	Fecha
TIME OF DAY		TOD#15:35:08.36	Hora del día
DATE_AND TIME		DT#2002-01-01-15:35:08.36	Fecha y hora
STRING		'AUTOMATA'	Cadena de caracteres

: Principales tipos de datos de la norma IEC 1131-3.

## Unidades de organización del programa de un proyecto

Un autómata programable se utiliza para controlar una máquina o un proceso determinado. Para ello es necesario conocer las especificaciones concretas y a partir de ellas realizar un proyecto o aplicación que da como resultado un conjunto de tareas que, una vez programadas en el autómata programable, hacen que este se comporte de la manera prevista.

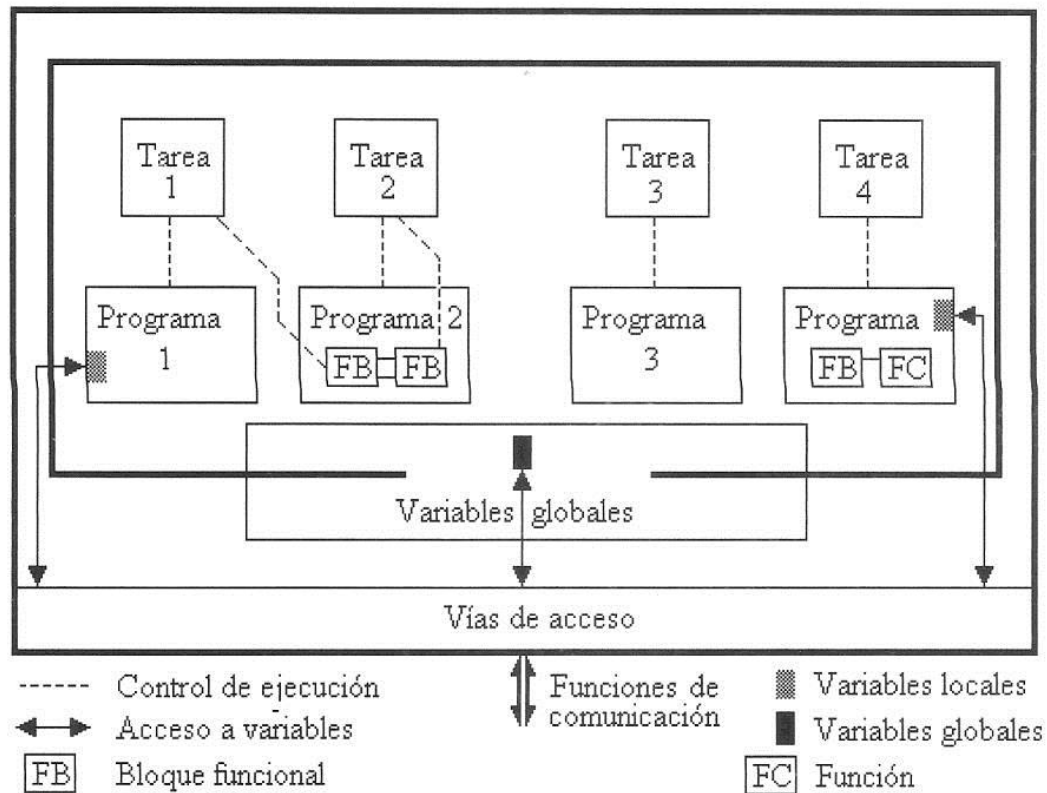
En las aplicaciones sencillas como las descritas en el apartado capítulo 1, el proyecto se realiza mediante una única tarea que se encarga de la ejecución cíclica del programa.

## Sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables

Cuando la aplicación es compleja, es preciso programar varias tareas que se encarguen de la ejecución de una o más unidades de organización del programa, denominadas POU (acrónimo de *P r o g r a m O r g a n i z a t i o n U n i t*) que son instrucciones o conjuntos de instrucciones relacionadas entre sí, que proporcionan una determinada funcionalidad. Se consigue así una división del proyecto en partes fácilmente comprensibles y una mayor facilidad para su puesta en marcha. En la Figura siguiente se muestra gráficamente la relación entre un conjunto de tareas y las distintas unidades de organización del “programa global”

de un proyecto.

Existen tres tipos de unidades de organización del programa (proyecto) que son los subprogramas (programas) si son llamados desde una tarea, tal como indica la Figura , las funciones (FC en la Figura ) y los bloques funcionales. A continuación se analiza cada uno de ellos:



**Figura 87**

Representación gráfica de la relación entre las tareas, las variables y las unidades de organización del programa global del sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables.

## Subprogramas

Los subprogramas son unidades de organización del programa que tienen como objetivo:

- Agrupar las instrucciones que tienen que ejecutarse varias veces a lo largo del programa.
- Subdividir el programa en partes fácilmente comprensibles. Los subprogramas se pueden considerar como un caso particular de los denominados genéricamente “programas” en la norma. No precisan argumentos de entrada o salida.

## Funciones

Una función es una unidad de organización del programa que, cuando se ejecuta, proporciona únicamente un dato (una única salida). Su invocación se puede realizar en los lenguajes literales como operando de una expresión. Se suele denominar FC (abreviatura de Function).

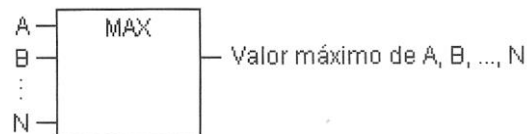
La norma IEC 1131-3 establece el conjunto mínimo de funciones que deben poseer los lenguajes de un autómata programable para poder ser considerado normalizado. Dichas funciones se indican en la tabla 1 siguiente. La forma de utilizarlas en cada uno de los lenguajes normalizados se describe en los apartados correspondientes.

<i>Númericas de una sola variable</i>		<i>Aritméticas (de dos o más operandos)</i>	
ABS	Valor absoluto	ADD	Suma
SQRT	Raíz cuadrada	MUL	Multiplicación
LN	Logaritmo natural	<i>Aritméticas (de dos operandos)</i>	
LOG	Logaritmo en base 10	SUB	Resta
EXP	Exponencial natural	DIV	División
SIN	Seno en radianes	MOD	Módulo
COS	Coseno radianes	EXPT	Elevación a exponente
TAN	Tangente en radianes	MOVE	Asignación
ASIN	Arcoseno		
ACOS	Arcocoseno		
ATAN	Arcotangente		
<i>Decalaje</i>		<i>Lógicas (Booleanas)</i>	
SHL	Desplazamiento hacia la izquierda	AND	Operación lógica Y
SHR	Desplazamiento hacia la derecha	OR	Operación lógica O
ROR	Rotación hacia la derecha	XOR	Operación O-exclusiva
ROL	Rotación hacia la izquierda	NOT	Negación
<i>Selección</i>		<i>Comparación</i>	
SEL	Selección	GT	Mayor
MAX	Máximo	GE	Mayor o igual
MIN	Mínimo	EQ	Igual
LIMIT	Limitador	LE	Menor
MUX	Multiplexor	LT	Menor o igual
		NE	Desigual
<i>Cadenas de caracteres</i>			
LEN	Longitud	INSERT	Inserción
LEFT	Caracteres a la izquierda	DELETE	Borrado
RIGHT	Caracteres a la derecha	REPLACE	Sustitución
MID	Caracteres intermedios	FIND	Búsqueda
CONCAT	Concatenación		
<i>Conversión de tipo</i>			
* TO **	Conversión de un tipo a otro		

Tabla 2: Funciones establecidas por la norma IEC 1131-3.

Las funciones normalizadas no contienen ninguna información de estado interno, lo que equivale a decir que la utilización de una función con unos argumentos determinados (parámetros de entrada de la función) debe proporcionar siempre el mismo valor (salida de la función). Se definen funciones de conversión de un tipo de dato en otro (conversión de tipo), numéricas, aritméticas, de comparación, de selección, etc. Ejemplos de funciones son ADD (suma), ABS (cálculo del valor absoluto), SIN (seno), COS (coseno), etc.

Todas las funciones normalizadas se pueden representar mediante un símbolo. Como ejemplo se representa el símbolo de la función MAX que proporciona a su salida el valor máximo de las variables aplicadas a sus entradas. En el apartado, más adelante, dedicado al lenguaje de diagrama de funciones, se describen los símbolos de las funciones más habituales.



**Figura 88**

#### **Símbolo de la función MAX.**

Además de utilizar las funciones normalizadas, el programador puede definir (Declare) sus propias funciones y utilizarlas el número de veces que sea necesario.

### **Bloques funcionales**

Un bloque funcional, denominado FB (Function Block) representa un algoritmo que puede ser utilizado en numerosos sistemas de control y constituye una unidad de organización del programa que, al ser ejecutada, proporciona una o más variables de salida. Su comportamiento se puede aproximar mediante el concepto de “caja negra” (Black Box) que funciona de una forma perfectamente definida. Se caracteriza por poseer variables de estado interno que pueden almacenar resultados parciales.

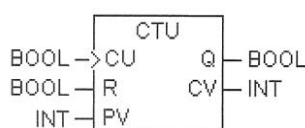
Es conveniente resaltar que, a diferencia de las funciones, los bloques funcionales no generan siempre el mismo conjunto de valores de salida a partir de unos valores determinados de las entradas. Ello es debido a que su estado interno puede ser diferente de una ejecución a otra.

Los bloques funcionales pueden realizar una función normalizada, como por ejemplo un biestable, o una función definida por el usuario, como por ejemplo un bucle de control de temperatura.

A cada bloque funcional normalizado le corresponde también un símbolo. Como ejemplo en la Figura 89 se representa el símbolo del bloque funcional contador ascendente CTU (Counter Up) que puede contar los flancos de una determinada variable. En el apartado siguiente, dedicado al lenguaje de lista de instrucciones, se representan los símbolos de los bloques funcionales más habituales con objeto de aclarar su comportamiento.

A título informativo, en la tabla siguiente, se indican los bloques funcionales de que deben disponer como mínimo los lenguajes de un autómata programable que cumpla la norma IEC 1131-3.

Al igual que en el caso de las funciones, el programador, además de utilizar los bloques funcionales normalizados, puede definir sus propios bloques funcionales y utilizarlos el número de veces que sea necesario.



**Figura 89**

**: Bloques funcionales predefinidos o establecidos por la norma IEC 1131-3.**

Bloque funcional	Operadores	Descripción
SR	S1,R	Biestable RS de activación prioritaria
RS	S,R1	Biestable RS de desactivación prioritaria
R TRIG	CLK	Convertidor de flanco ascendente en impulso
F TRIG	CLK	Convertidor de flanco descendente en impulso
CTU	CU, R, PV	Contador ascendente
CTD	CD, LD, PV	Contador descendente
CTUD	CU, CD, R, LD, PV	Contador reversible (ascendente - descendente)
TP	IN, PT	Temporizador de impulso
TON	IN, PT	Temporizador de retardo a la conexión
TOF	IN, PT	Temporizador de retardo a la desconexión

**Tabla 3. Bloques funcionales predefinidos o establecidos por la norma IEC 1131-3.**

## Variables

Las variables constituyen la información de los terminales de entrada/salida de un autómata programable o la contenida en una posición de su memoria interna.

Las variables pueden estar predefinidas y, en caso contrario, deben ser definidas (en inglés "Declare") por el programador. Una variable predefinida está establecida en el lenguaje y el programador puede utilizarla en cualquier punto del programa. Una variable no predefinida puede ser accesible desde cualquier punto del programa o solamente dentro de la unidad de organización en la que se

define. En el primer caso la variable es global y se le asigna el nombre VAR\_\_GLOBAL. En el segundo caso es local y se denomina simplemente VAR (Figura 1). Ambos tipos de variables junto con otros tipos disponibles y las constantes, se muestran a título informativo en la tabla 4. En sucesivos apartados se estudian con más detenimiento.

Las variables pueden ser inicializadas (serles asignado un determinado valor), en el momento en que se definen, mediante el símbolo `Por ejemplo, para definir la variable local “Cierto” de tipo lógico y con valor inicial verdadero (TRUE), se utiliza la siguiente definición:`

*VAR Cierto:BOOL:=TRUE; END VAR*

Los bloques funcionales también necesitan la definición de una variable que especifique el tipo de bloque concreto a utilizar. Por ejemplo la expresión:

*VAR Biestable:SR; END\_VAR* define

una variable denominada Biestable que es del tipo SR (Tabla 3)

Palabra clave	Utilización de la variable
VAR	Variable local interna a la unidad de organización en la que se declara.
VAR_INPUT	Suministrada externamente. No modificable dentro de la unidad de organización
VAR_OUTPUT	Suministrada por la unidad de organización
VAR_IN_OUT	Suministrada externamente. Modificable dentro de la unidad de
VAR_EXTERNAL	Variable global suministrada externamente. Es modificable dentro de la unidad de organización
VAR_GLOBAL	Variable global
VAR_ACCESS	Variable accesible a través de una vía de comunicación
RETAIN	Variable no volátil o retentiva (No pierde la información que contiene al dejar de aplicar la tensión de alimentación)
CONSTANT	Constante (variable que no puede ser modificada) Ejemplo Binario: 2#1111_1111 (255 decimal) Ejemplo Hexadecimal: 16#FF (255 decimal)
AT	Asignación local

Tabla 4. Palabras clave para la definición (declaración) de variables en la norma IEC 1131-3.

## **Lenguaje normalizado de lista de instrucciones**

### **Conceptos generales**

El lenguaje de lista de instrucciones IL (instruction List) incluido en la norma IEC 1131-3 consiste en un conjunto de códigos simbólicos, cada uno de los cuales corresponde a una o más instrucciones en lenguaje máquina del autómata programable que lo utiliza.

Por ser la programación mediante códigos simbólicos la que más se aproxima al lenguaje máquina, está especialmente indicada para usuarios familiarizados con la electrónica digital y con la informática. Por otra parte, este lenguaje fue el único utilizable con las unidades de programación sencillas, que solamente visualizaban una o varias líneas de programa simultáneamente.

La norma IEC 1131-3 define un lenguaje de lista de instrucciones que está siendo utilizado por muchos fabricantes de autómatas programables. Por ello, en sucesivos apartados se analiza la forma de representar las variables y las instrucciones más usuales del lenguaje de lista de instrucciones de la norma IEC 1131-3 que se puede utilizar para diseñar sistemas de control lógico mediante los métodos descritos en la norma.

### **Variables predefinidas**

Son variables definidas en el lenguaje. En la norma IEC 1131-3 están predefinidas:

#### **Variables de entrada %In**

El término %I (input) representa una variable lógica que tiene asociado un número n correspondiente a su situación en el conector de entrada.

#### **Variables de salida externas %Qn**

El término %Q (Output) representa una variable lógica de salida que tiene asociado un número n correspondiente a su situación en el conector de salida.

#### **Variables de salida internas %Mn**

El término %M (Mark) representa una variable lógica interna (elemento de memoria) que tiene asociado un número n correspondiente a su situación en la memoria del autómata programable. El número n distingue a unas variables de otras y puede estar constituido por un número decimal o por dos separados por un punto.

Las variables predefinidas pueden ser lógicas X (bits), octetos B [Bytes (8 bits)], palabras de 16 bits W (Words) y dobles palabras de 32 bits DW (Double Words). Dichas variables se identifican mediante el carácter “%” aunque algunos fabricantes de autómatas programables, que siguen en líneas generales la norma,

no lo utilizan. Por ello, el símbolo “%” se omite en el resto del libro.

### **Variables no predefinidas**

Son variables a las que el programador asigna un nombre y un tipo mediante una definición. En sucesivos apartados se incluyen ejemplos de definición de este tipo de variables.

## Actividad n°6

### Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante utilice el Megger para una prueba de aislación.

### Estrategias metodológicas para el instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

### Objetivos del aprendizaje

Evaluar estado de los componentes de acuerdo a procedimiento de prueba.

### Descripción de la Actividad

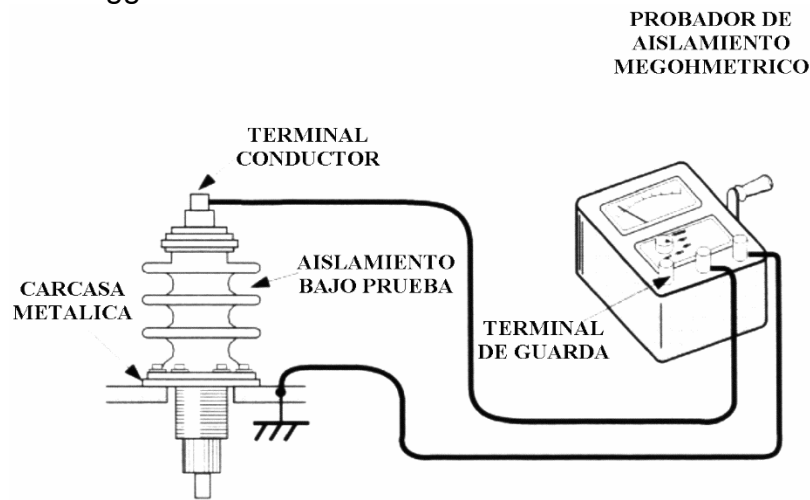
El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual. Solicitará a los participantes que realicen diferentes actividades propuesta y explicar los fenómenos visualizados.

### Materiales y Recursos

- Estación de entrenamiento Labvolt o Similar (en su defecto las prueba pueden ser realizadas en un motor tipo jaula de ardilla).
- Megger de CC (u otro Mega óhmetro)
- Equipos de protección personal (guantes de seguridad, lentes de seguridad, zapatos dieléctricos o aislados).

## Desarrollo de la actividad

Refiérase a la Figura 1 cuando lleve a cabo el siguiente procedimiento para la prueba del Megger.



### Prueba de un aislador con Megger

- 1.- Conectar las puntas de prueba del Megger para al conductor que será probado y a la carcasa del equipo o blindaje metálico del cable (tierra) (Figura 1).
- 2.- Girar la manivela rápidamente, a una velocidad uniforme. Si la aislación es buena, el Megger indicará primero una resistencia baja (fenómeno de corriente de carga de un condensador) y luego la resistencia aumentará.
- 3.- Continúe hasta que la aguja del medidor se sitúe en un valor estacionario. El tiempo dependerá de la capacitancia del equipo sometido a prueba. Registre la lectura.
- 4.- Cuando se haya finalizado, si el Megger tiene una posición de descarga, utilícela para extraer cualquier carga acumulada.

**NOTA** Si se utiliza un Megger de AT, recuerde usar guantes de goma y una varilla de aislación (hot stick), para conectar a tierra el conductor después de la prueba, delimitar la zona, más la colocación de baliza.

## EVALUACION

1. Todos los Megger son seguros, pues ellos funcionan con menos de 750 V.  
¿Verdadero o Falso?
2. Un medidor de aislación nunca debe conectarse a un circuito \_\_\_\_\_.
3. ¿Cuál es la función de un conductor de guarda en un instrumento de prueba?

## CIERRE

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos deberán identificar las acciones y mediciones en el Megger indicando la condición del equipo bajo prueba. Si el Megger puede indicar la cantidad de Mega Ohm, esta deberá ser anotada y discutida frente a lo que se considera aceptable para que la aislación de un motor eléctrico sea considerada como aceptable.



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

