

**N**UESTRO actual nivel de vida sería impensable sin el concurso de las máquinas que ejecutan trabajos con mucha más potencia, precisión, rapidez o comodidad

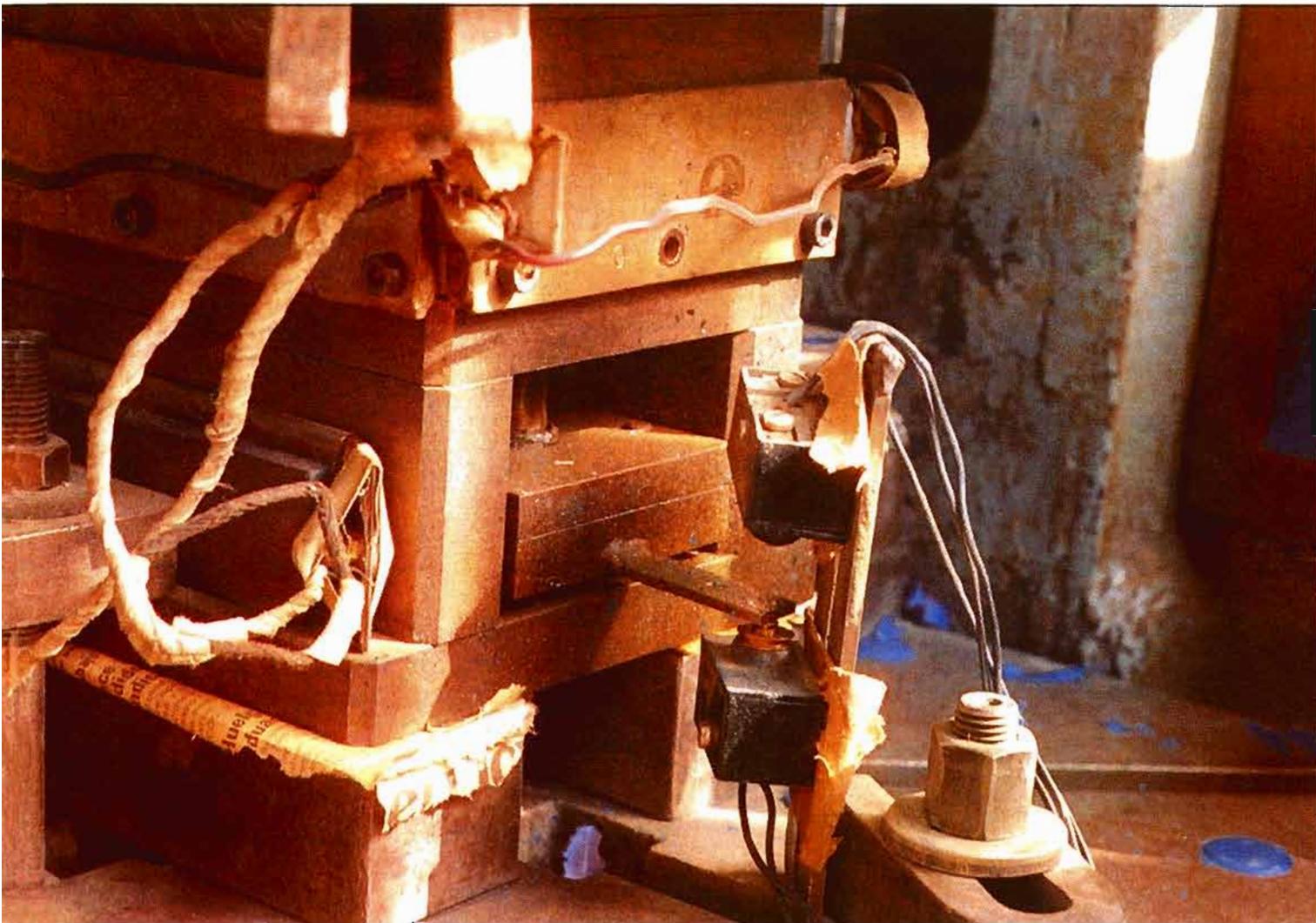
de lo que es capaz el hombre sin el concurso de tales medios.

No obstante, es conocido de todos que frente a esta innegable utilidad hay también un negro historial de acci-

dentos e incluso muertes producidas en o por las máquinas. Tanto es así que hoy día buena parte de los esfuerzos dedicados a la mejora de las máquinas van orientados a la consecución

## SEGURIDAD EN LAS MAQUINAS EQUIPO ELECTRICO (I)

D. JAIME JUTGLAR BANYERAS \*



*Vista parcial de un molde para material plástico en que se ven los elementos calefactores y dos interruptores de posición. En esta instalación se aprecian los siguientes fallos de bulto:*

- Los interruptores han sido instalados de modo fácilmente burlable.
- Sus bornes no tienen protección alguna contra contacto corporal directo.
- Los bornes de los elementos calefactores están muy deficientemente protegidos. El simple encintado aislante no puede considerarse suficiente.
- Se ven conductores sueltos, sin protección mecánica alguna y con el aislamiento en avanzado deterioro.

\* COMERCIAL Y FABRIL APER (BARCELONA)

CDU 621.314.64.621.315		Marzo 1981
NORMA ESPAÑOLA	Equipo eléctrico de las máquinas-herramienta	UNE
	EQUIPO ELECTRICO DE LAS MAQUINAS DE USO GENERAL	20-416-81 Parte I
INDICE		
		Páginas
1	GENERALIDADES .....	2
2	DEFINICIONES .....	2
3	MARCAS E INSTRUCCIONES DE TRABAJO.....	3
4	ESPECIFICACIONES GENERALES .....	6
6	MEDIDAS DE PROTECCION .....	7
6	CIRCUITOS DE MANDO .....	9

Fig. 1.—Cabecera de la norma UNE 20 416, traducción de la norma internacional IEC 204.

— La reproducción corresponde a la parte I.  
 — El título de la parte II es: «Equipo eléctrico de las máquinas utilizadas en cadenas de producción de grandes series.»  
 — La parte III se refiere al empleo de equipo electrónico en las máquinas-herramientas.

ción de una mayor seguridad para las personas que intervienen en las máquinas o que por su proximidad pueden resultar afectadas, habiendo aparecido multitud de nuevas disposiciones o métodos que, en los países más adelantados, han conducido a rebajas drásticas en el número de accidentes.

Tanto en este artículo como en el que aparecerá en el próximo número, vamos a centrar nuestra atención en las disposiciones o precauciones que hay que tomar con el equipo eléctrico de las máquinas para evitar o limitar en lo posible el riesgo de accidente por causa achacable a fallo en el citado equipo eléctrico.

Nos referiremos al equipo eléctrico para máquinas de aplicación general, usuales para elaborar metales, madera, goma, plásticos, papel, fibra, cartón, piel, cuero, textiles, lavado, secado, tratamiento de superficies, alimentos, piensos, golosinas, construcción, etc., en el bien entendido que siempre habrá máquinas que por sus peculiares condiciones pueden requerir disposiciones complementarias o distintas a las que aquí se consideran.

## NORMAS Y REGLAMENTOS

### Importancia de las normas

El objeto que persiguen las normas es reducir en lo posible las probabili-

dades de fallo y, caso de que el fallo tenga lugar, eliminar o reducir a un mínimo la peligrosidad que ello comporte.

Las normas se orientan a la obtención del mayor grado de seguridad compatible con las condiciones técnicas actuales y no sólo para las personas, sino también para las propias máquinas y para el producto elaborado.

Las normas y reglamentos son elaborados por competentes expertos y las exigencias que formulan son función de:

- Grado de peligrosidad de la máquina o trabajo realizado en la misma.
- Experiencia adquirida con la aplicación de normas y medidas de protección anteriores.
- Grado de seguridad que permite alcanzar el actual nivel de la técnica.

Es importante, pues, estudiar bien y ceñirse a las normas y reglamentos incluso en aquellos preceptos cuya necesidad aparezca no del todo clara. Por la misma razón deberá ser muy justificada cualquier desviación que se introduzca.

### Normativa actual

Existe actualmente ya una notable documentación de procedencia extranjera, pero que por su poca difusión y dificultades idiomáticas llega sólo a muy pocas de las personas in-

teresadas en el tema. En castellano se han publicado también en los últimos años diversos trabajos, algunos de ellos de notable interés.

Como reglamentación oficial española, rige desde 1971 la *Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo*.

En esta Ordenanza sólo encontramos el artículo 89 como aplicable directamente a nuestro caso. Tal artículo dice textualmente:

«Para evitar los peligros que pueda causar al trabajador los elementos mecánicos agresivos de las máquinas por acción atrapante, cortante, lacerante, punzante, prensante, abrasiva o proyectiva, se instalarán las protecciones más adecuadas al riesgo específico de cada máquina.»

La expresión «protecciones más adecuadas» es tan general y admite interpretaciones tan subjetivas que con ella el legislador nos pone fuera de la ley, pues cuando se produce un accidente es evidente que la máquina no tenía las «protecciones adecuadas». En la práctica, esta disposición puede tener una utilidad más o menos punitiva, pero es poco eficaz en cuanto a efectos preventivos.

Decir que las protecciones deben ser las más adecuadas y no dar una guía, instrucciones o ejemplos que ilustren como deben ser tales protecciones no parece demasiado honesto. Esta laguna, hoy en día, está ya notablemente cubierta.

En octubre de 1973, el Ministerio de Industria establece como obligatorio el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión* (REBT) y unas instrucciones complementarias al mismo que se han ido ampliando o concretando en años posteriores.

Este reglamento, si bien en líneas generales parece más enfocado a las redes de distribución e instalaciones en edificios y locales de diversa índole (sólo dedica un 5 por 100 de su contenido a receptores industriales), contempla una serie de aspectos (terminología, cargas de los conductores, dimensionado de neutros, etc), cuyas prescripciones son también aplicables al equipo eléctrico de las máquinas.

Finalmente, a mediados de 1981 se completó la publicación de la norma *UNE 20 416*, que con el título *Equipo Eléctrico de las Máquinas-Herramienta*, incide ya de lleno en nuestro tema.

Esta norma baja a detalles mucho más concretos y las prescripciones que establece son aplicables tanto a

las máquinas-herramienta como a la gran mayoría de las máquinas usuales para otros trabajos.

Es de notar también la existencia de numerosas normas UNE que hacen referencia a materiales concretos, como conductores, bornes, fusibles, interruptores, contactores, auxiliares de mando, lámparas de señal, etc., a las que deben sujetarse tales materiales para ofrecer un mínimo de garantía.

## OBJETIVOS

Los objetivos de este artículo son los siguientes:

- Destacar y comentar algunos aspectos que se consideran de especial interés o que son más comúnmente desatendidos.
- Razonar el porqué de diversas prescripciones que a primera vista pueden parecer de justificación oscura.

Con ello se pretende:

- Facilitar la mejor comprensión y aplicación de la normativa existente.
- Aportar elementos de juicio para valorar mejor las máquinas bien equipadas.
- Contribuir a la reducción del número de casos, sorprendentemente elevado, en que con mejor voluntad que conocimientos se intenta aplicar seguridades con equipo eléctrico tan deficientemente elegido o instalado que introduce unos nuevos riesgos iguales o peores a los que se pretendía eliminar.

Los comentarios e interpretaciones que siguen son fruto de años de experiencia y trabajo en este campo y, si bien se apoyan fundamentalmente en la ya citada UNE 20 416, tienen en cuenta también prácticas usuales en otros países y criterios expuestos en la confección de normas aún en preparación.

## ACCIDENTES ELECTRICOS

Los accidentes de origen eléctrico podemos dividirlos en:

- Fallos de aislamiento entre partes bajo tensión y:
  - otras partes a distinta polaridad;

- partes conectadas a tierra o a masa;
  - partes al alcance de personas (normal o accidental).
- Fallos de conductividad.

- conductores rotos, flojos, interrumpidos;
- contactos que no abren o cierran cuando debieran.

En realidad, y según la experiencia enseña, los fallos se producen en las mejores instalaciones, de ahí la importancia de no sólo intentar reducirlos al mínimo, sino también de las medidas encaminadas a su prevención.

## CONCEPTOS GENERALES

### Circuitos

En el circuito eléctrico de una máquina podemos establecer dos grandes divisiones.

#### *Circuito principal o de potencia*

Es el que contiene los medios para distribuir, convertir o utilizar directamente la energía eléctrica.

#### *Circuito auxiliar*

Es el que se emplea para funciones adicionales, tales como ordenar, medir, avisar, señalar, enclavar, gobernar, ajustar, etc.

En el circuito auxiliar, la parte más significativa es la que contiene los elementos con que se maniobran o gobiernan los componentes del circuito principal. Esta parte del circuito auxiliar se denomina *circuito de mando* o, simplemente, *maniobra*.

## Tensiones

### *Tensión de aislamiento*

Tensión teórica para la que se diseña un equipo.

Sirve de base para dimensionar las distancias de aislamiento entre partes conductoras y para los ensayos de rigidez dieléctrica.

### *Tensión nominal*

Tensión teórica que se toma como base para determinar las condiciones de funcionamiento del equipo. Recientemente se la denominó también *tensión asignada*.

### *Tensión de empleo*

Tensión real a la que trabaja el equipo durante su empleo. Es una tensión variable a lo largo del día y de un día a otro.

Para el buen funcionamiento del equipo es importante que estas variaciones se mantengan dentro de unos límites determinados, que suelen expresarse en porcentaje de la tensión nominal

Las variaciones permisibles para la tensión de empleo son:

— Para la red:

Recomendado por IEC 38,  $\pm 5$  por 100.

Permitido por el REBT,  $- 5$  por 100.

No obstante, son usuales,  $\pm 10$  por 100.

— Para motores:

No debe sobrepasarse,  $+ 5$  por 100.

— Para contactores (UNE 20 109),  $+ 10$  por 100,  $- 15$  por 100.

### *Tensión de seguridad*

Tensión inferior a aquella cuya descarga continuada a través del cuerpo humano no llega a ser de consecuencias fatales.

La tensión que sin peligro puede resistir el cuerpo depende de múltiples factores, como son, por ejemplo, superficie de contacto, humedad de la piel, estado fisiológico de la persona, sexo, trayecto de la descarga, etc.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Instr. 021) fija los siguientes límites superiores:

— 50 V, valor eficaz para locales o emplazamientos secos.

— 24 V, valor eficaz para locales o emplazamientos húmedos o mojados.

La UNE 20 416 recomienda 48 V a 50 Hz.

### *Tensión de mando*

El circuito de mando es crítico, pues, por un lado, su trazado suele ser largo y complejo, alcanzando puntos difíciles o realmente expuestos, mientras, por otro lado, comprende los elementos de mando que son accionados directamente por el operario.

Cara a la seguridad contra contactos corporales a primera vista, parece pre-

ferible el empleo de 48 V como tensión de seguridad; no obstante, con tensiones tan bajas aparecen problemas por caídas de tensión.

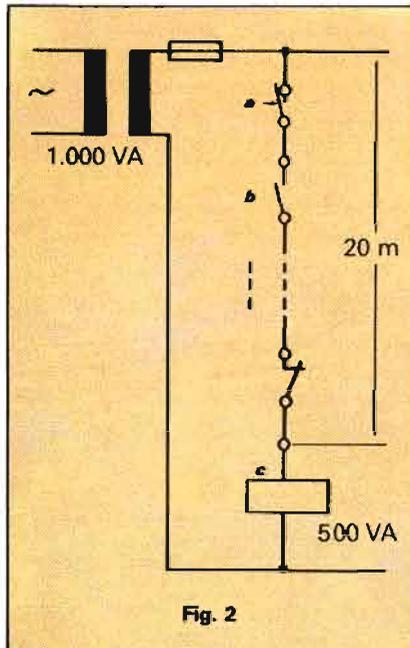


Fig. 2

#### Importancia de las caídas de tensión

Sea el circuito de la fig. 2, en que un contactor C, cuya bobina, en el momento de la atracción, consume 500 VA, es alimentado por un transformador de 1.000 VA a través de una línea de 20 m y de cinco contactos a/e y cuya resistencia de contacto es de 50 mΩ (10 mΩ por contacto).

Si contamos que a bornes de entrada del transformador puede llegar una tensión de 95 por 100 del valor nominal, que la caída a través del trafo puede ser del 2 por 100 y que tomamos otro 3 por 100 como margen para tener en cuenta otras caídas de tensión (fusible, bornes, etc.), hasta el - 15 por 100 que las normas permiten para el contactor, queda sólo un 5 por 100 para caída de tensión entre trafo y bobina del contactor.

Podríamos dar una tensión algo más elevada a la salida del trafo para compensar caídas, por ello puede ser peligroso, pues ya hemos dicho que en la línea son usuales oscilaciones de hasta + 10 por 100 y creemos que este dato peca por corto en muchos casos.

Considerando, pues, como bueno el margen del 5 por 100 restante, veamos qué ocurre con dos tensiones extremas, 24 y 380 V.

Tensión secundaria del trafo ...	24 V	380 V
Caída disponible hasta C (5 %) .	1,2 V	19 V
Consumo de C (500 VA) ..	20,8 A	1,32 A
Caída en los contactos a/e (50 m).....	1,04 V	0,066 V
Caída disponible para los 20 m de línea.....	0,16 V	18,934 V
Resistencia de la línea ... ..	7,7 mΩ	14,3 Ω
Sección de Cu necesaria ... ..	46,7 mm <sup>2</sup>	0,07 mm <sup>2</sup>

A la tensión de 380 V un conductor de 1 ó 1,5 mm<sup>2</sup> es ampliamente suficiente para el alumbrado, mientras que a 24 precisaríamos un conductor de 50 mm<sup>2</sup>, prácticamente impensable.

Con un conductor de 4 mm<sup>2</sup>, que es lo máximo que suelen admitir los bornes de las bobinas a 24 V se originaría en dicho conductor una caída de tensión de 1,87 V, que, por sí sola, es ya notablemente superior al 5 por 100 disponible.

#### Tensión de mando recomendada

Como se ve, cara a los contactos corporales, son deseables las tensiones bajas, pero éstas presentan una elevada inseguridad ante las caídas de tensión, inseguridad que puede dar lugar a funcionamientos defectuosos con mayor riesgo que el derivado de un contacto corporal.

De ahí que las normas se queden en una tensión de compromiso media y desaconsejen las tensiones de seguridad inferiores a 48 V, relegando incluso los 48 V a casos de menor compromiso o a aquellos casos en que sea absolutamente indispensable.

Así, las tensiones de mando recomendadas son 110 y 220 V, dando

unas normas como preferente el primero de estos valores y prefiriendo otras normas el segundo. Dadas las tendencias actuales en el desarrollo de la aparatada, tanto respecto al empleo de materiales de alta calidad como al dimensionado de distancias de aislamiento cada vez mayores, parece más aconsejable la tensión de 220 V.

#### Grado de aislamiento

Al hablar de distancias de aislamiento entre piezas conductoras a distinta polaridad se consideran tres casos distintos:

##### Distancia a través del material aislante

Viene determinada por la rigidez dieléctrica del material aislante y las normas no dan valores fijos, sino que, de acuerdo con la tensión de aislamiento, establecen unos valores de tensión de ensayo que deben ser soportados un tiempo determinado.

Para la aparatada de baja tensión son usuales los valores dados por UNE 20 109, según la Tabla 1.

Para equipos compuestos de varios elementos, la UNE 20 416 establece un ensayo conjunto a una tensión 85 por 100 de la tensión más baja de las aplicables a los componentes individuales, pero no inferior a 1.500 V.

##### Distancia de fuga superficial

Es la mínima distancia que puede medirse entre piezas conductoras bajo tensión, siguiendo el contorno de la superficie aislante entre ellas.

Esta distancia se dimensiona principalmente considerando el grado de conocimiento del personal que presumiblemente manipulará en el equipo, la naturaleza del material aislante (tendencia a la carbonización o a la formación de caminos conductores) y la po-

Tabla 1

Tensión de aislamiento V	Tensión de ensayo durante un minuto V
Hasta 60	1.000
Más de 60 hasta 300	2.000
Más de 300 hasta 660	2.500
Más de 660 hasta 800	3.000
Más de 800 hasta 1.000	3.500

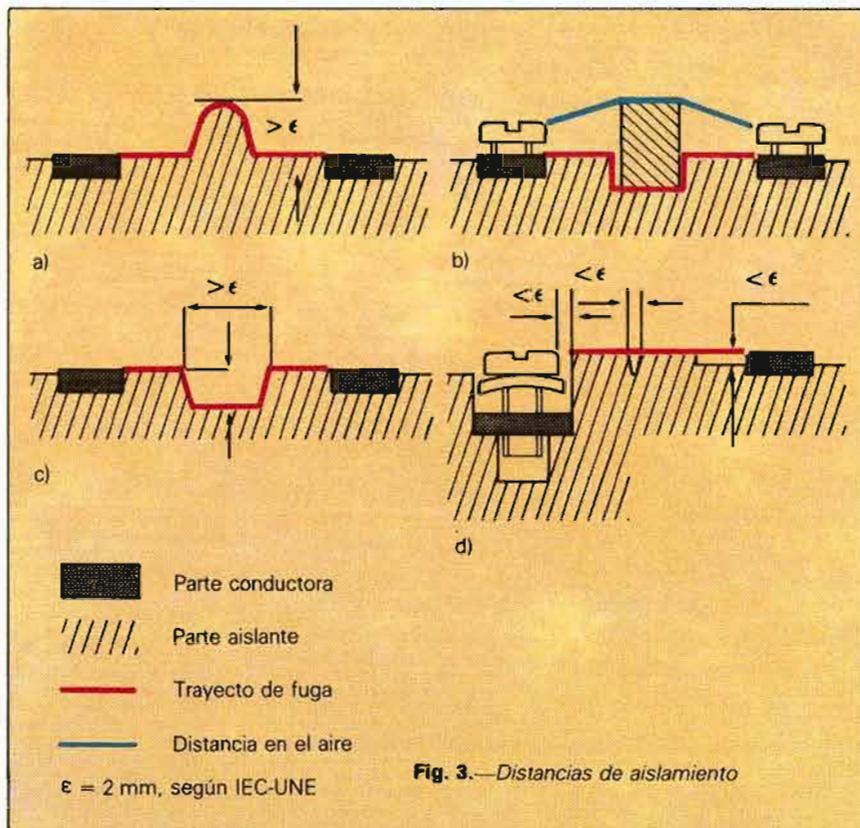


Fig. 3.—Distancias de aislamiento

sibilidad de acumulación de humedad, polvo, suciedad o materias extrañas. Por esta última consideración, los pequeños accidentes superficiales se desprecian (ver fig. 3d).

También cuando en la separación intervienen varias piezas aislantes, la unión entre ellas constituye parte de la superficie a considerar (fig. 3c), a no ser que tal unión sea encolada sin dejar resquicios.

#### Distancia a través del aire

Es la mínima longitud de un hilo tenso que alcance a ambas piezas conductoras.

Esta distancia se dimensiona principalmente teniendo en cuenta las posibilidades de caída de cuerpos conductores, conductores que se aflojan y salen de sus bornes respectivos, cables de alma multifilar alguna de cuyas hebras puede quedar fuera del borne, etc.

#### Dimensiones de las distancias de aislamiento

Tanto las distancias superficiales como las de a través del aire no obedecen a unas leyes físicas, sino que son valores empíricos, fruto de una experiencia de años que en la práctica ha dado buenos resultados. Se com-

prende, pues, la existencia de notables discrepancias entre distintas normas; así, por ejemplo, las normas del Canadá y USA suelen exigir distancias mayores.

Es aconsejable elegir un nivel de aislamiento por lo menos un grado superior al correspondiente a la tensión de empleo, según las normas actuales para todos aquellos aparatos que deban instalarse cerca del transformador general de entrada. Igualmente se elegirán también aquellos componentes que intervengan en los sistemas de seguridad para las personas.

#### GRADO DE PROTECCION IP

Es un índice del grado de protección del material proporcionado por su envolvente (caja, armario, compartimiento, etc.). Viene definido por la norma UNE 20 324, equivalente a IEC 144 y a DIN 40 050.

Este índice se expresa mediante dos o tres cifras que siguen a la denominación IP y cuyo significado es:

#### 1.ª cifra: Protección contra contactos corporales y entrada de sólidos

0 Ninguna protección.

- 1 Contra entrada de esferas de más de 50 mm Ø.
- 2 Contra entrada de esferas de más de 12 mm Ø.
- 3 Contra entrada de esferas de más de 2,5 mm Ø.
- 4 Contra entrada de esferas de más de 1 mm Ø.
- 5 Contra entrada de polvo en cantidad perjudicial.
- 6 Total contra entrada de polvo.

#### 2.ª cifra: Protección contra la penetración de líquidos

- 0 Ninguna protección.
- 1 Contra caída vertical de gotas.
- 2 Contra caída de gotas con desviación de hasta 15° de la vertical.
- 3 Contra caída de gotas con desviación de hasta 60° de la vertical.
- 4 Contra salpicaduras provenientes de cualquier dirección.
- 5 Contra chorros provenientes de cualquier dirección.
- 6 Contra los embates del mar y análogos.
- 7 Contra inmersión poco profunda.
- 8 Contra inmersión profunda.

#### 3.ª cifra

Expresa el grado de resistencia mecánica contra golpes y malos tratos, pero hasta el momento no se ha llegado a un acuerdo general sobre su aplicación; de ahí que usualmente en la expresión del grado IP figuren sólo las dos primeras cifras.

Para los motores, las normas no obligan a una protección IP determinada, pero indican que sean usados preferentemente los de tipo cerrado, es decir, clase IP 44.

Es de notar que el mantenimiento de la clase de protección IP es uno de los puntos más desatendidos en la práctica y que más conducen a la degeneración de la seguridad.

#### PROTECCION CONTRA CONTACTOS CORPORALES

Este tipo de protección debe prevalecer siempre que exista peligro de contacto corporal de las personas con partes conductoras que tengan una tensión superior a 50 V o puedan llegar a tenerla, por ejemplo, por un previsible fallo de aislamiento, conductor suelto, caída de piezas, etc.



Fig. 4

**Izquierda:** Cámara de contactos no apta para ser usada como interruptor de posición en una máquina. La protección no es suficiente ni contra contacto corporal ni contra influencias externas, como líquidos, polvo, virutas, etc.

**Derecha:** La misma cámara provista de una envolvente IP 65 es ampliamente suficiente

La solución radical sería emplear tensiones no superiores a 50 V, pero esta solución no es aplicable en la mayoría de los casos. Resulta evidente su dificultad de aplicación en los circuitos principales o de potencia, y ya se ha indicado anteriormente limitaciones que comporta en los circuitos auxiliares o de mando.

Por ello, las normas permiten y recomiendan el empleo de tensiones mayores prescribiendo a tal efecto una serie de medidas de seguridad.

#### Protección contra contactos directos

El REBT prescribe una de las siguientes medidas:

- Alejamiento de las partes activas a zonas no alcanzables con la mano.
- Interposición de obstáculos.
- Recubrimiento de las partes activas con un aislamiento apropiado.

La UNE 20 416 considera además que:

- Si el obstáculo interpuesto es una puerta, placa, pantalla o cubierta envolvente, su fijación se hará con elementos que requieran el uso de herramientas para ser abiertos.
- Las puertas dispondrán de cerra-

Tabla 2		
Grado de protección IP mínimo prescrito por las normas		
Aplicación	Grado de protección	Norma
Organos de mando (pulsadores, interruptores, conmutadores, selectores, termostatos, presostatos, electroimanes, interruptores de posición, etc.)	IP 53	UNE 20 416 parte I
Organos de mando expuestos a la presencia de cuerpos extraños (agua, aceite, taladrinas, viruta, limaduras, polvo o suciedad)	IP 55	
Organos de mando en cualquier caso	IP 55	UNE 20 416 parte II
Cajas de bornes	IP 55	
Conductores externos para la conducción de cables	IP 33	
Conductos externos expuestos a la entrada de líquidos, virutas, polvo, etc.	IP 53	UNE 20 416 parte I
Conductos que comunican con cajas de bornes	IP 53	UNE 20 416 parte II
Compartimientos sin ventilación	IP 53	UNE 20 416 parte II
Compartimientos con ventilación	IP 53	
Compartimientos conteniendo solamente resistencias de arranque o equipo de grandes dimensiones	IP 23	
Cajas o armarios adjuntos o montados sobre la misma máquina:		DIN 57113 VDE 0113
Sin ventilación	IP 54	
Con ventilación	IP 44	
Conteniendo sólo equipo insensible al polvo	IP 32	

dura practicable sólo mediante llave.

También si se prevé que personal lego podrá tener acceso al interior del armario o compartimiento, por ejemplo, para la sustitución de fusibles:

- Todas las puertas activas estarán protegidas de modo que no sea posible tocarlas accidentalmente ni aun estando abierta la puerta.
- O bien, que la puerta esté enclavada con un dispositivo seccionador de la alimentación de modo que la puerta sólo pueda ser abierta estando el seccionador abierto, y que éste no pueda ser cerrado estando la puerta abierta.

#### Protección contra contactos indirectos

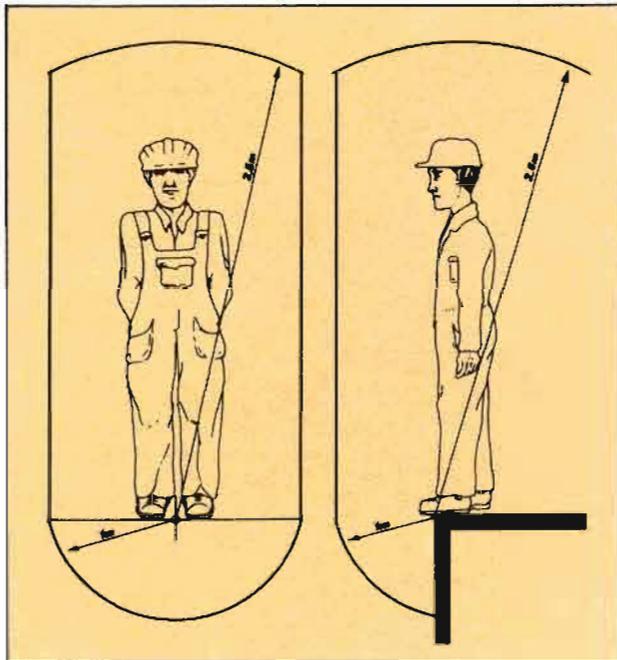
Contra los contactos indirectos, la UNE 20 416 no prescribe medida di-

recta alguna, pero tales medidas vienen especificadas por el REBT. Este reglamento contempla varios sistemas de protección, pero como el mismo ya advierte muchos de ellos no son siempre aplicables o lo son sólo de manera limitada. Por ello, el sistema más recomendable y más usado consiste en conectar todas las masas a tierra y disponer un dispositivo de corte por intensidad de defecto, el llamado interruptor diferencial o interruptor de fallo de aislamiento.

El sistema tiene la ventaja de actuar al producirse un fallo de aislamiento entre cualquier parte activa y cualquier parte conductora conectada a masa sin necesidad de que llegue a producirse el contacto corporal indirecto.

Para que el sistema sea eficaz es importante, pues, atender las precisiones del Reglamento y el capítulo 13, puesta a tierra, de la UNE 20 416.

La prescripción de conectar a tierra



**Fig. 5.**  
Límites de la zona alcanzable con la mano, según RE.BT., instrucción MI BT.021.



**Fig. 6.**—Elementos de mando provistos de consola. Los órganos de accionamiento son bien accesibles. Los bornes son inaccesibles por quedar dentro de la consola, que, en este caso, una vez montada, proporciona un grado de protección IP 65.

un polo del circuito de mando no tiene por objeto la protección contra contactos indirectos, sino la protección contra falsos funcionamientos.

### PROTECCION CONTRA SOBREINTENSIDAD

Se llama sobreintensidad a aquella que, de mantenerse un tiempo superior al previsto, puede afectar adversamente al estado, vida o condiciones de funcionamiento de un equipo o instalación.

Suelen considerarse dos tipos de sobreintensidad que es importante distinguir bien:

- La debida a un cortocircuito.
- La debida a una sobrecarga.

#### Protección contra cortocircuito

El cortocircuito es una sobreintensidad que se produce por contacto directo (o a través de una impedancia muy pequeña) entre piezas conductoras de distinta polaridad. Siempre es consecuencia de un estado de fallo y, por tanto, es indeseado e inesperado y, además, de efectos destructores, dada la gran intensidad puesta en juego, que fácilmente puede ser cientos de veces la intensidad nominal de la carga. De ahí la conveniencia de limitar su valor y proceder a su interrupción lo más rápidamente posible.

Si bien no se pueden predecir las condiciones en que se producirá un

previsible cortocircuito, sí que son conocidas las condiciones más adversas posibles y, por tanto, puede calcularse el valor que la intensidad alcanzaría bajo tales condiciones. Con este valor se dimensiona (o revisa) la rigidez del equipo en cuanto a resistencia a los efectos dinámicos y se determina el tiempo tolerable antes que se alcancen efectos térmicos inadmisibles en las partes conductoras.

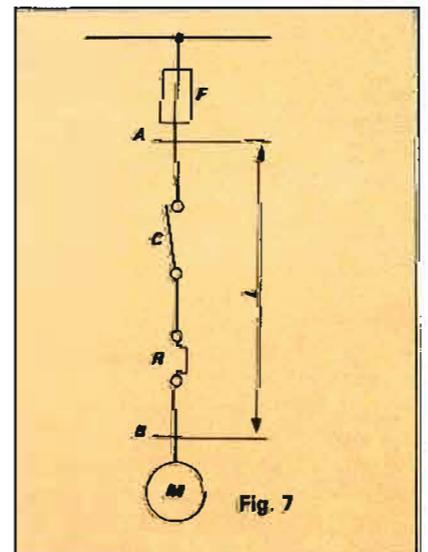
A menudo, los cortocircuitos van acompañados de un arco. El arco tiene una resistencia que reduce la intensidad de cortocircuito, pero desarrolla temperaturas locales elevadísimas que destruyen cuanto se encuentra en sus proximidades. Por tanto, no basta con cortar el cortocircuito antes del tiempo soportable por la inercia térmica de las partes conductoras, sino que debe interrumpirse cuanto antes a fin de limitar los efectos del posible arco.

También, como resultado de un cortocircuito, pueden producirse efectos secundarios en puntos alejados del punto de cortocircuito, como, por ejemplo, soldadura de contactos en elementos de aparamenta, fusión o descalibrado de los elementos térmicos de los relés contra sobrecargas, etc. Así, después de un cortocircuito, es recomendable y en muchos casos será preciso revisar el equipo posiblemente afectado antes de ponerlo nuevamente en servicio.

El valor de la intensidad previsible de cortocircuito no depende de la carga, sino de la potencia disponible que

la red es capaz de aportar al punto de cortocircuito.

Otro factor a tener en cuenta es la posibilidad del llamado cortocircuito lejano. La fig. 7 muestra la alimentación a una carga M, protegida contra cortocircuitos por el elemento F. La protección F debe estar al principio de la alimentación para protegerla toda ella; una protección a mitad de línea no sería efectiva contra cortocircuitos por arriba de su punto de instalación. También debe dimensionarse de acuerdo con la mayor potencia de cortocircuito previsible; en este caso, la del punto A, pero el cortocircuito puede presentarse en un punto B eléctricamente alejado de F; lejanía representada por la distancia L, más la aparamenta intermedia C-R, cuyo



**Fig. 7**

conjunto puede suponer una impedancia que reduzca significativamente la intensidad de cortocircuito. La protección F debe ser igualmente eficaz en estas condiciones.

Las características básicas de una protección contra cortocircuito, son pues:

- La capacidad o poder de corte.
- La intensidad mínima de actuación.
- El tiempo de actuación en cada caso.

Los elementos comúnmente empleados para la protección contra los cortocircuitos son los fusibles y los interruptores automáticos con disparo magnético

Los fusibles presentan a su favor las ventajas de precio, simplicidad y seguridad. Los interruptores automáticos permiten reposiciones continuadas, a menudo sus características de disparo son adaptables a la instalación y permiten satisfacer otras funciones complementarias.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en los protectores contra cortocircuito es la gran probabilidad de conexión en presencia de condiciones de corto, en especial en casos de reposición o de conexión tras largos períodos de paro. En tales circunstancias, mientras aún persiste la acción manual de cierre, se produce el disparo del protector desconectando, con su secuela de arcos, calentamientos, etc., y, por tanto, con el consiguiente riesgo para el operador. Este riesgo es más considerable en los fusibles, que, precisamente por su simplicidad, resultan más propicios a intervenciones chapuceras.

El riesgo de chapuzas se reduce con el empleo de fusibles normalizados en el lugar adonde va destinada la máquina y disponiendo siempre de recambios. El tipo de fusible a emplear debe, pues, determinarse ya al proyectar la máquina considerando las posibilidades de reposición.

Unos fusibles normalizados o prescritos en un país pueden estar prohibidos en otro. En España son teóricamente usables y adquiribles la mayoría de tipos usados en Europa; otra cosa es que se encuentren disponibles cuando se necesitan o se sepa dónde encontrarlos.

También existen en el mercado tipos que no satisfacen las condiciones mínimas de seguridad prescritas. Estas condiciones mínimas figuran en el

Tabla 3a			
Fusible máximo permitido por VDE 0110 (intensidad nominal) en función de la sección de conductor de cobre			
Sección mm <sup>2</sup>	Grupo 1 A	Grupo 2 A	Grupo 3 A
0,75	—	10	16
1	10	16	20
1,5	16	20	25
2,5	20	25	35
4	25	35	50
6	35	50	63
10	50	63	80
16	63	80	100
25	80	100	125
35	100	125	160
50	125	160	200
70	160	224	250
95	200	250	300
120	250	300	355
150	—	355	425
185	—	355	425
240	—	425	500
300	—	500	600
400	—	—	710
500	—	—	850
Grupo 1: Conductores unifilares en tubos o conductos. Grupo 2: Conductores multifilares, cables y flexibles. Grupo 3: Conductores sueltos al aire con una separación entre ellos de, por lo menos, su diámetro.			

Reglamento Electrotécnico, instrucción MI BT020.

#### Protección contra sobrecargas

Se entiende por sobrecarga aquella sobreintensidad originada, estando la instalación en buen estado, por condiciones transitorias de funcionamiento que, de mantenerse suficiente tiempo, podrían ser causa de avería.

Se producen o pueden producirse sobrecargas en aquellas instalaciones cuyas condiciones de funcionamiento (tensión, velocidad, par resistente, etcétera) son variables y cuyas variaciones se traducen en variaciones de intensidad.

Normalmente, la peligrosidad de las sobrecargas radica en los efectos térmicos sobre las partes conductoras recorridas por la corriente, pero estos efectos no son inmediatos, sino que para manifestarse requieren un tiem-

po más o menos largo, función inversa de la sobrecarga. Naturalmente, una protección contra sobrecarga debe actuar antes que los efectos térmicos sean peligrosos, pero debe permitir sobrecargas ligeras o de corta duración, que por su naturaleza sean perfectamente tolerables.

Así se evitan paros innecesarios que repercutirían en la productividad o en el proceso y, en los motores, permite superar los arranques, que de otro modo serían costosos y complicados.

La característica básica de una protección contra sobrecarga es, pues, su curva de disparo intensidad-tiempo. Esta curva suele facilitar la el fabricante de la protección y las normas fijan unos puntos límite entre los cuales debe estar comprendida.

Como elementos de protección contra sobrecargas pueden usarse los fusibles, siempre y cuando su característica de disparo resulte ajustada a la

Tabla 3b

Fusibles indicativos dados por UNE 20 416

1	2	3	4	5	6
Sección del conductor mm <sup>2</sup>	Intensidad mínima de cortocircuito A	Tiempo total de corte, máximo S	Calibre del cortocircuitos-fusible Ejecuciones según UNE 21 103		
			gll A	gl A	aM A
0,75	180	0,23	16	12	12
1	240	0,23	25	20	16
1,5	310	0,30	32	25	20
2,5	420	0,46	40	40	32
4	560	0,66	50	50	40
6	720	0,90	80	80	63
10	1.000	1,3	100	100	100
16	1.350	1,8	—	160	125
25	1.800	2,5	—	200	200
35	2.200	3,3	—	250	250
50	2.700	4,5	—	315	315
70	3.400	5	—	400	400
95	4.100	5	—	500	400
120	4.800	5	—	500	500
150	5.500	5	—	630	630
185	6.300	5	—	630	630
240	7.400	5	—	800	800

característica térmica de la carga a proteger. De ahí que existan fusibles de un mismo calibre, pero con diferentes características, adecuados, respectivamente, a diferentes elementos a proteger. Recíprocamente, no todos los fusibles de un calibre correcto son los adecuados para una protección dada.

#### Elección de la protección

La posibilidad de reunir en un solo dispositivo simple, como el fusible, las capacidades de protección contra cortocircuito y contra sobrecarga hace que este elemento sea ampliamente utilizado en la protección de líneas, aparataje y aparatos de carga más o menos estática.

En las tablas 3a y 3b se dan valores para su aplicación en la protección de líneas.

Esta última tabla pretende el funcionamiento del fusible antes que el conductor sea llevado de 70° C a 160° C, no excediendo la duración del cortocircuito de cinco segundos.

Si en lugar de fusibles se emplean interruptores automáticos, el valor  $I_{2t}$  correspondiente no será inferior al

sustante de los valores dados en las columnas 2 y 3 de la tabla 3b.

Respecto a la aparataje u otros aparatos, la función de los fusibles se reduce normalmente a la protección contra sobreintensidades de cortocircuito y, a menudo, sólo puede conseguirse limitar en lo posible las averías por tal sobreintensidad. A igualdad de capacidad de ruptura y frente a un mismo cortocircuito, cuanto menor es el calibre del fusible más rápidamente se produce la fusión y más eficaz es la protección. Es, pues, aconsejable elegir siempre fusibles del menor calibre que permita la carga.

Normalmente, el fabricante de un aparato o elemento de aparataje da indicaciones sobre los fusibles a usar para la protección.

Los fusibles son elementos cuyo disparo no puede ser probado con anterioridad a su actuación, sino que se supone tendrá lugar a un valor asignado en función del comportamiento de ejecuciones similares bajo determinadas circunstancias; una vez han actuado deben ser sustituidos. Por otra parte, los fusibles se fabrican según un escalonado normalizado y no existen valores intermedios. Todo ello hace

que los fusibles no puedan cubrir con suficiente eficacia la protección contra sobrecargas de elementos, tales como, por ejemplo, los motores y, en general, las máquinas eléctricas.

El elemento protector debe poder ser finamente ajustable, poder ser verificado y ser repetitivo. Estas características se consiguen con los llamados relés térmicos de sobrecarga.

La elección del relé térmico se hace, pues, coincidente con la intensidad del motor. No obstante, algunos tipos de arranque, por ejemplo, el arranque  $\star \Delta$  (estrella-triángulo) requiere relés de calibre distinto; los fabricantes de tales arrancadores suelen dar instrucciones al respecto.

También hay que citar los interruptores automáticos con disparo magnetotérmico que combinan elementos térmicos como protección diferida contra sobrecargas con elementos magnéticos, como protección instantánea contra cortocircuitos.

Debieran protegerse todos los motores, cualquiera que sea su potencia. La UNE 20 416 prescribe la protección de los motores de más de 1 Kw que funcionen normalmente de manera continua, pero el Reglamento Electrotécnico baja este límite a 0,75 Kw (instrucción MI BT 034).

Con arranques frecuentes o intermitentes presenta ventajas la protección mediante sondas inmersas en el devanado.

Con arranques difíciles o con peligro de calado del rotor presentan ventajas los relés térmicos bimetálicos.

Estos últimos relés suelen fabricarse de modo que desplazando simplemente un pequeño dispositivo de rearme pueda pasarse de manual a automático, o viceversa. La situación de rearme automático puede ser peligrosa en algunos casos.

#### PROTECCION CONTRA FALTA DE TENSION

Cuando el arranque inesperado de una máquina pueda significar algún peligro, deben tomarse medidas para desconectar automáticamente la máquina, en caso de falta de tensión. De este modo se evita que el restablecimiento de la tensión dé lugar a un arranque intempestivo.

Esto se consigue mediante un interruptor automático provisto de relé de tensión baja o mediante un contactor. ■