



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



# Instalaciones Eléctricas

Tema 10: Comando y Protección de Motores Eléctricos

## Contenido

1. INTRODUCCION.....	3
2. REPASO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A INDUCCION TRIFASICO DE “JAULA DE ARDILLA” .....	4
3. ARRANQUE DEL MOTOR: CARACTERISTICAS Y DISPOSITIVOS .....	11
4. TIPOS DE FALLAS EN LOS MOTORES Y SUS CAUSAS.....	18
5. SALIDA A MOTOR (comando y protección de motores) .....	21
6. COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DE UNA SALIDA A MOTOR.....	39
7. CONEXIÓN DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS DE UNA SALIDA A MOTOR (Diagramas de comando) .....	41

## 1. INTRODUCCION

El 70% a 80% de la energía eléctrica consumida en la industria es convertida a energía mecánica a través de motores. El mercado mundial de los motores eléctricos se estima en algunas decenas de billones de dólares al año.

Los motores eléctricos pueden clasificarse en tres tipos fundamentales:

- de inducción o asincrónicos: por razones técnicas y económicas el motor de inducción tipo jaula de ardilla es el utilizado en la mayor parte de las aplicaciones, alrededor del 90% en la actualidad, por lo que estudiaremos en detalle la protección de este tipo de motores. Las potencias nominales límites de este tipo de motores son: 300kW para 380V, 550kW para 660V y 2MW para 11 o 12kV.
- Sincrónicos
- de corriente continua

Dada la importancia del motor eléctrico, la fabricación y selección del mismo se realiza con sumo cuidado. Lo mismo debe hacerse cuando se trata de diseñar el sistema de protección del motor.

La protección del motor debe cumplir dos funciones:

- impedir el daño del equipo; además, si la falla puede ser resuelta sin reparación, la protección debe permitir el restablecimiento del motor en servicio en forma inmediata, demorando solo el tiempo suficiente para que el motor haya disminuido su temperatura a valores aceptables para el funcionamiento. Si se requiere reparación de algún componente del sistema de protección, este tiempo debe ser mucho menor que el tiempo necesario frente a una eventual reparación de la máquina protegida.
- actuar en forma selectiva a fin de disminuir la zona desconectada y facilitar la identificación – localización de la falla.

Desde el punto de vista de la corriente absorbida de la red, los requisitos sobre la protección son distintos dependiendo de la magnitud de la misma:

- $I \leq I_n$ : corresponden generalmente al funcionamiento normal del motor; no debe actuar la protección.
- $I_n < I \leq 2.5I_n$ : corresponden a sobrecorrientes provocadas por sobrecargas mecánicas; el motor está aumentando su temperatura más de lo apropiado, la protección debe actuar en un tiempo que impida daño o envejecimiento a la aislación.
- $2.5I_n < I \leq 7-8I_n$ : el motor se encuentra con el rotor bloqueado; la protección debe intervenir rápidamente, permitiendo el arranque si de esto se trata.
- $8I_n < I$ : corresponde a un cortocircuito que está limitado solamente por la impedancia de la fuente y de las conexiones; la protección debe actuar inmediatamente.

## 2. REPASO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A INDUCCION TRIFASICO DE “JAULA DE ARDILLA”

El motor a inducción trifásico está compuesto fundamentalmente por dos partes: estator y rotor.

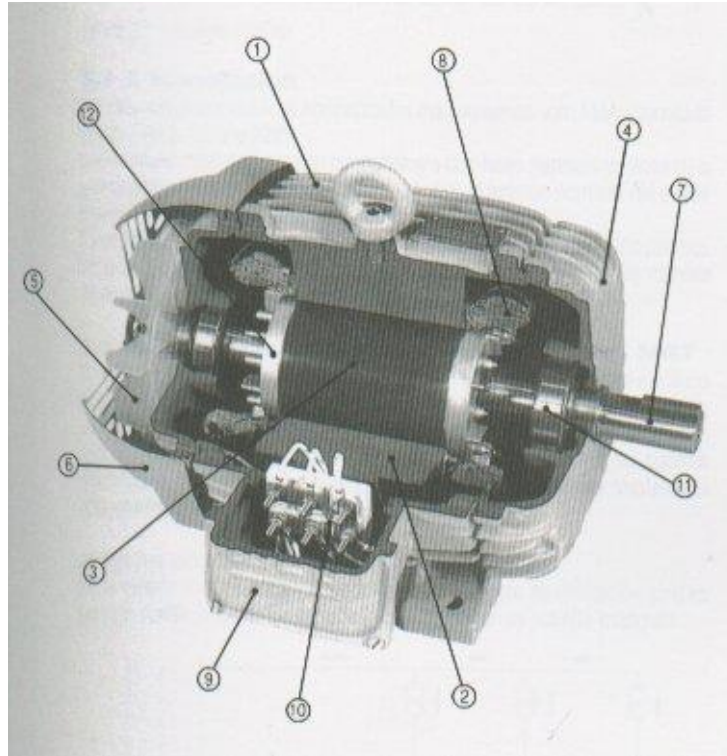


Figura 1: Motor de inducción trifásico.

Estator:

- carcasa (1): es la estructura soporte del conjunto; de construcción robusta en hierro fundido, acero o aluminio inyectado, resistente a la corrosión y presenta aletas.
- Núcleo de chapas (2): las chapas son de acero magnético, tratadas térmicamente para reducir al mínimo las pérdidas en el hierro.
- Bobinado trifásico (8): tres conjuntos iguales de bobinas, una para cada fase, formando un sistema trifásico conectado a la red de alimentación.

Rotor:

- Eje (7): transmite la velocidad mecánica desarrollada por el motor. Es tratado térmicamente para evitar problemas como deformación y fatiga
- Núcleo de chapas (3): las chapas poseen las mismas características que las del estator

- Barras y anillos de cortocircuito (12): son de aluminio, fundidos a presión en una única pieza.

Otras partes del motor a inducción trifásico:

- Tapas (4)
- Ventilador (5)
- Protección del ventilador (6)
- Caja de conexiones (9)
- Placa de bornes (10)
- Rodamientos (11)

El motor de “jaula de ardilla” tiene su rotor construido por un conjunto de barras no aisladas, interconectadas por anillos de cortocircuito. Solo el estator está conectado a la red de alimentación; el rotor no es alimentado externamente y las corrientes que circulan en él son inducidas electromagnéticamente por el estator.

Principio de funcionamiento: el bobinado trifásico en el estator (constituido por 3 bobinados monofásicos espaciados entre sí 120º), al ser alimentado por corrientes trifásicas, genera un campo H de intensidad “constante” pero cuya dirección “gira” completando una vuelta cada fin de ciclo. Este campo giratorio induce tensiones en las barras del rotor, las que generan corrientes y por ende un campo en el rotor de polaridad opuesta a la del campo generado por el estator. Puesto que el campo del estator es rotativo, el rotor tiende a acompañar la rotación de dicho campo. Entonces, se genera en el rotor un par motor que hace que gire, moviendo la carga.

Velocidad sincrónica ( $n_s$ ): La velocidad sincrónica del motor está definida por la velocidad de rotación del campo giratorio, la cual depende de la cantidad de polos del motor (expresada como 2p, puesto que para formar los pares de polos dicha cantidad deberá ser siempre un número par) y de la frecuencia eléctrica f de la red, expresada en Hertz.

El campo giratorio recorre un par de polos en cada ciclo. Entonces si el bobinado tiene más de 1 par de polos la velocidad del campo será:

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{120f}{2p} (rpm)$$

Siendo la relación entre grados eléctricos y grados mecánicos la siguiente: grados eléctricos = grados mecánicos x p.

Deslizamiento (g): Cuando el rotor gira a una velocidad diferente de la sincrónica, se inducen en el rotor corrientes que tienden a generar campos mayores cuanto más distintas sean las velocidades.

Cuanto mayor sea la carga, mayor tendrá que ser el par necesario para moverla y por ende decaerá la velocidad del motor. Por otro lado, cuando la carga es nula (motor en vacío) el rotor gira prácticamente con la velocidad sincrónica.

La diferencia entre la velocidad del motor  $n$  y la velocidad sincrónica  $n_s$  se llama deslizamiento  $g$  y se expresa:

$$g = n_s - n$$

la misma puede expresarse en porcentaje como:

$$g(\%) = 100 \frac{n_s - n}{n_s}$$

Curva par – velocidad: la variación del par con la velocidad para un motor normal se puede representar gráficamente como sigue:

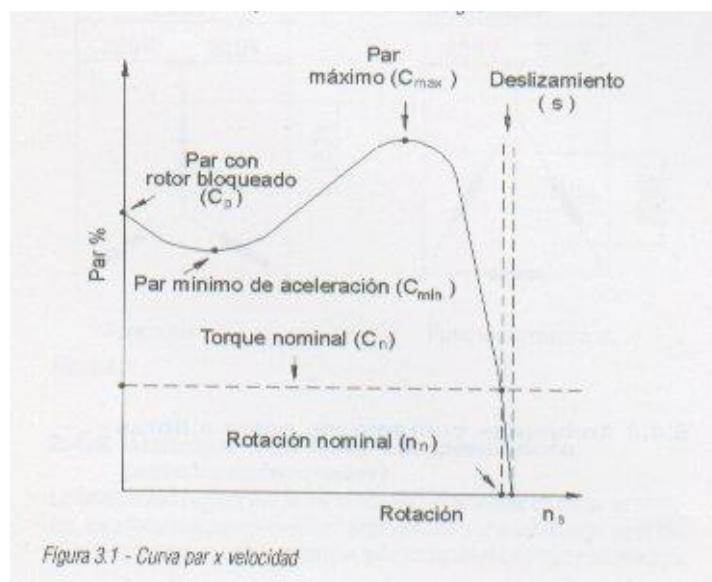


Figura 2: Curva par-velocidad.

En la figura se destacan algunos puntos importantes que se definen como sigue:

$C_{min}$ , par mínimo: es el menor par desarrollado por el motor al acelerar desde velocidad cero hasta la velocidad correspondiente a su par máximo.

$C_{max}$ , par máximo: es el mayor par desarrollado por el motor, bajo tensión y frecuencia nominales, sin disminución brusca de la velocidad. Este valor debe ser lo más alto posible puesto que el motor debe ser capaz de vencer sin grandes dificultades eventuales picos de carga que puedan presentarse así como no debe perder bruscamente la velocidad cuando momentáneamente ocurren disminuciones de tensión excesivas.

De acuerdo a las características del par en relación a la velocidad y corriente en el arranque, la norma IEC 34-12 clasifica a los motores trifásicos de inducción con rotor de jaula de ardilla en categorías como sigue:

- Categoría N: par de arranque normal, corriente en el arranque normal, bajo deslizamiento. Constituyen la mayoría de los motores encontrados en el mercado y se utilizan para cargas tipo bombas, máquinas operatrices, ventiladores, etc.
- Categoría H: par de arranque alto, corriente en el arranque normal, bajo deslizamiento. Usados para cargas que exigen mayor par de arranque como ser zarandas, transportadores, cargadores, molinos, etc.
- Categoría D: par de arranque alto, corriente en el arranque normal, alto deslizamiento (más del 5%). Usados en prensas excéntricas, elevadores, etc.

A continuación se muestra gráficamente las curvas características de estas categorías

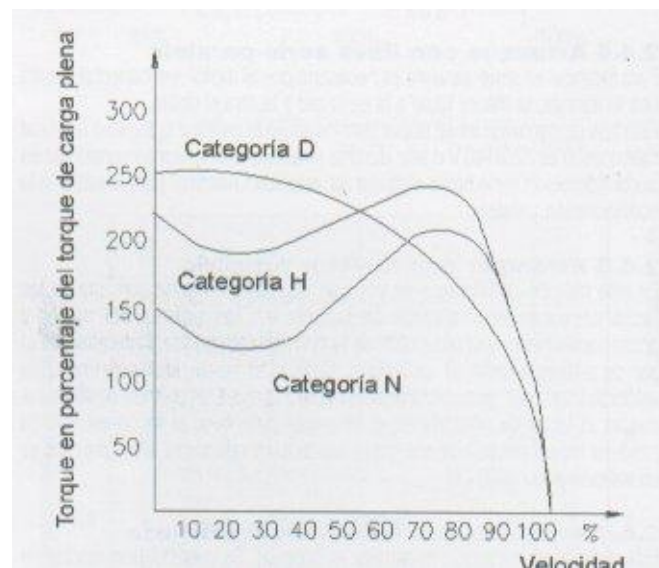


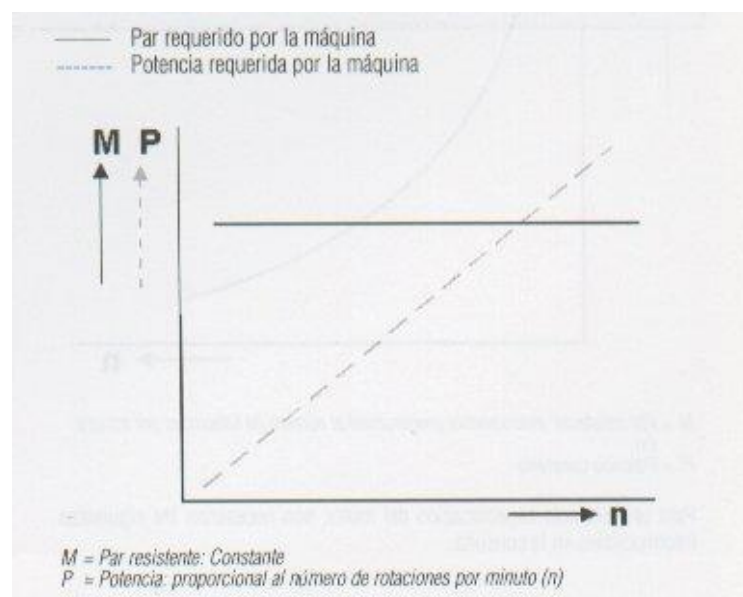
Figura 3: Torque según categorías IEC.

Selección y aplicación de motores eléctricos: La selección correcta del motor implica que el mismo satisfaga las exigencias requeridas por la aplicación específica. En este aspecto, el motor debe ser capaz de:

- Acelerar la carga en tiempo suficientemente corto para que el calentamiento no dañe las características físicas de los materiales aislantes.
- Funcionar en el régimen especificado, sin que la temperatura de sus diversas partes sobrepase la clase de aislante o que el ambiente provoque la destrucción del mismo.
- Desde el punto de vista económico, funcionar con valores de rendimiento y factor de potencia dentro de la faja óptima para la cual fue proyectado.

Para la selección correcta de los motores, es importante considerar las características técnicas de la aplicación y las características de la carga, como ser:

- **Par de arranque:** para que una carga arrancando desde velocidad cero alcance su velocidad nominal, es necesario que el par del motor sea siempre superior al par resistente.
- **Par de aceleración:** En punto de intersección de la curva del par motor con la curva del par resistente, el par de aceleración es nulo, o sea, se alcanza el punto de equilibrio a partir del cual la velocidad permanece constante. Este punto de intersección debe corresponder a la velocidad nominal.
- **Par nominal:** par nominal necesario para mover la carga en condiciones de velocidad específica. El par requerido para el funcionamiento normal de una máquina puede ser constante o variable. En este último caso, el par máximo del motor debe ser suficiente como para soportar los picos momentáneos de la carga. Las características de funcionamiento de una máquina en cuanto al par pueden ser divididas en tres clases:





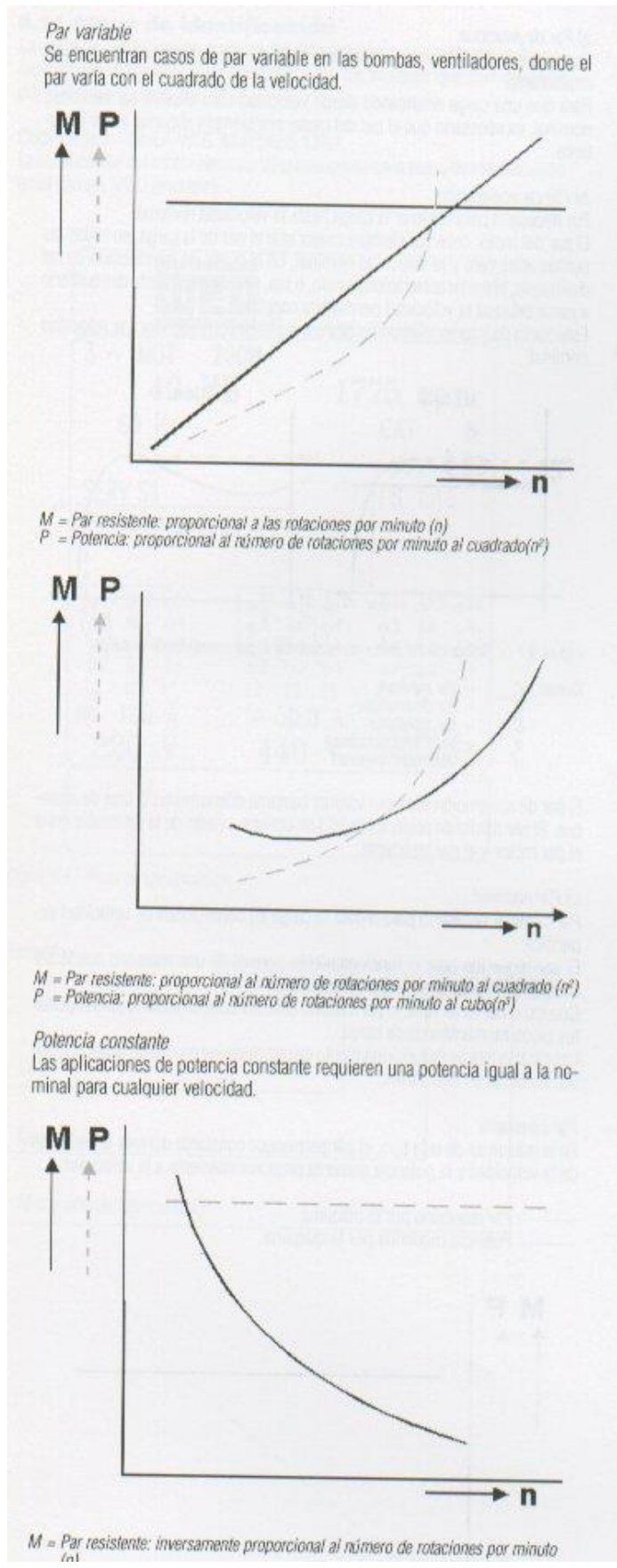


Figura 4: Par y potencia en función velocidad.

- Características de la red de alimentación: tensión, frecuencia, método de arranque
- Características del ambiente: altitud, temperatura ambiente, atmósfera ambiente
- Características constructivas: forma, potencia en kW, velocidad en rpm, factores de servicio, sentido de rotación

### 3. ARRANQUE DEL MOTOR: CARACTERÍSTICAS Y DISPOSITIVOS

Cuando se aplica tensión a los bornes de un motor, se produce una corriente de arranque grande que puede ir acompañada de una caída de tensión en la línea de alimentación a dicho motor.

A los efectos de reducir estos efectos nocivos del arranque del motor existen distintos métodos para arrancarlo. Se debe tener en cuenta que todo método basado en un arranque a tensión reducida implica también un par reducido de arranque.

A continuación se describirán las principales características de los siguientes métodos de arranque de un motor:

- i. Arranque directo
- ii. Arranque estrella – triángulo
- iii. Arranque c/resistencia estatórica
- iv. Arranque por autotransformador
- v. Arranque suave

i. Arranque directo

En este caso, se conecta el motor directamente a la línea durante su encendido. La corriente de arranque del motor es muy elevada, pudiendo alcanzar valores de 4 a 8 veces la corriente nominal del motor. El par en el momento de arranque es mayor al par nominal. El par es máximo cuando el motor alcanza aproximadamente el 80% de su velocidad nominal en cuyo momento la corriente se reduce sensiblemente.

A continuación se muestran las curvas de corriente y par para este tipo de arranque.

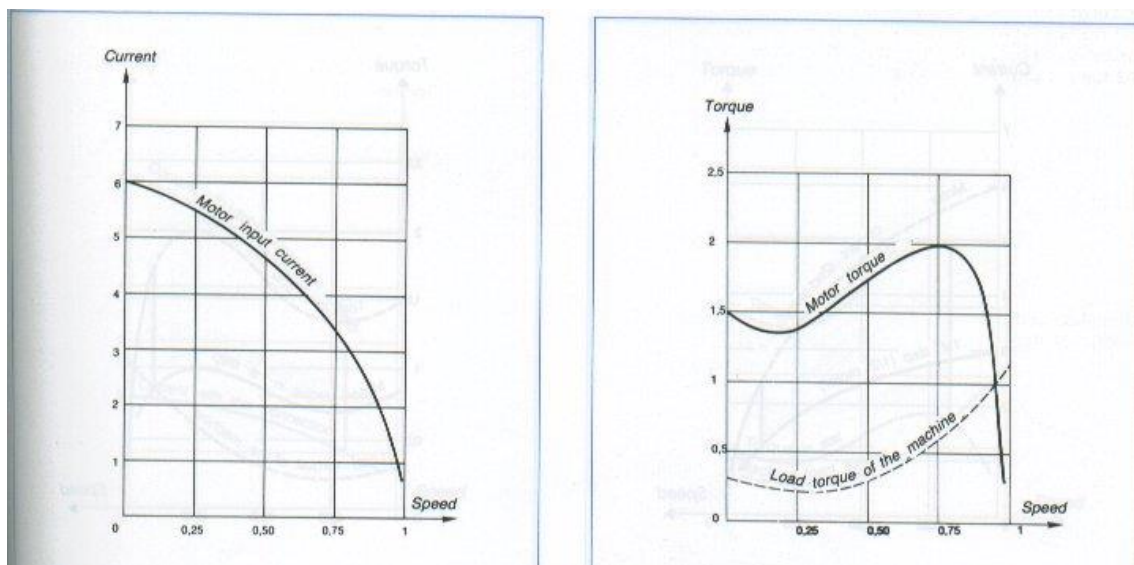


Figura 5: Corriente y par en el arranque.

Características de este tipo de arranque:

- Es sumamente utilizado
- Es la solución más sencilla y económica.
- Es el único tipo de arranque sin reducción de par (exceptuando el arranque con variador de velocidad)

ii. Arranque estrella – triángulo

Este método de arranque solo puede ser aplicado a motores que tienen los seis bornes de los bobinados estatóricos disponibles y cuya tensión en triángulo corresponde a la tensión nominal de la red, por ejemplo, para una red de 380V, el motor deberá ser 380/660V (triángulo / estrella).

Para este arranque en una primera etapa se arranca el motor con el motor conectado en estrella. Entonces:

$$V_Y = \frac{V_n}{\sqrt{3}}$$

$$C_Y = \frac{C_{directo}}{3}$$

$$I_Y = \frac{I_{directo}}{3}$$

Siendo  $V_n$  la tensión de línea de la red,  $C_{directo}$  el par de arranque del en caso de un arranque directo e  $I_{directo}$  la corriente de arranque del motor en caso de un arranque directo.

La primera observación que se deduce es que al reducirse tanto el par de arranque, este tipo de arranque es apropiado para máquinas que arrancan en vacío o con cargas muy reducidas.

En una segunda etapa se cambia la conexión de estrella a triángulo. La tensión aplicada a cada bobinado es la tensión nominal de la red y el motor retoma su funcionamiento normal.

Durante la transición se puede producir una reducción importante de velocidad (en caso de carga muy pesada) y un transitorio de corriente que si bien es de muy corta duración puede ser más elevado que la corriente de arranque directo. Existen varios métodos para mitigar estos efectos transitorios: establecer un pequeño retardo entre el cambio de conexión, conectar en forma transitoria una resistencia antes de efectuar la transición o inmediatamente después.

Por las discontinuidades que se producen en la corriente y el par de la máquina durante la transición es que este tipo de arranque no se recomienda para máquinas que requieran un arranque suave o para motores de gran potencia.

A continuación se muestran las curvas de corriente y par para este tipo de arranque.

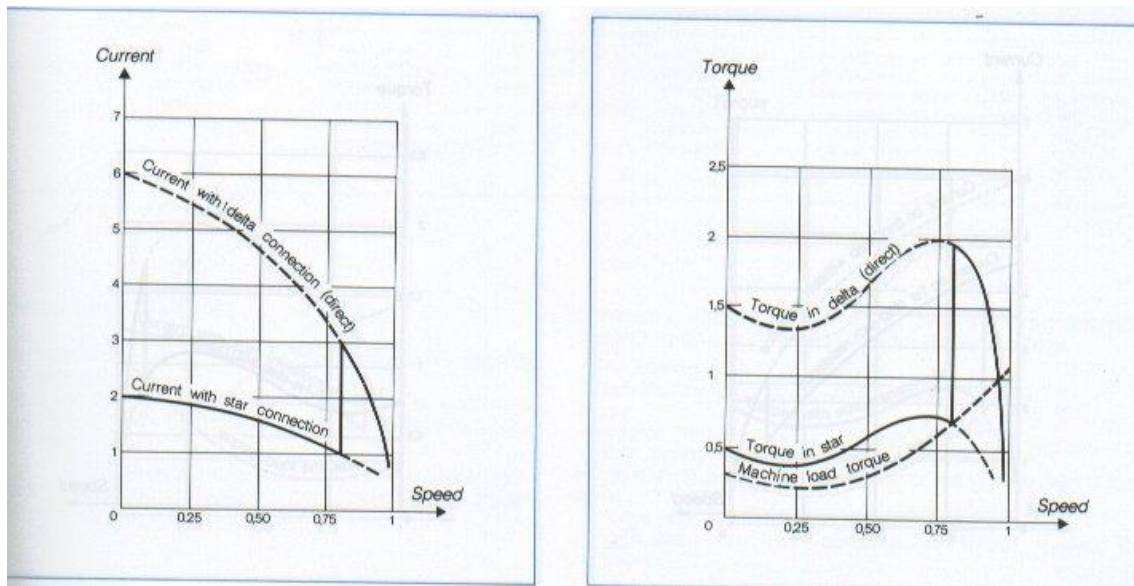


Figura 6: Corriente y par en el arranque.

### iii. Arranque c/resistencia estatórica

En este método de arranque, se conecta inicialmente una resistencia en serie con el bobinado estatórico, lo cual reduce la tensión aplicada al motor durante esta etapa. Dicha resistencia es posteriormente cortocircuitada.

Puesto que las conexiones eléctricas de los bobinados no se modifican durante el arranque, la corriente de línea se reduce en proporción a lo que se reduce el voltaje en bornes del motor mientras que el par se reduce en proporción al cuadrado de la misma reducción, lo que da como resultado un par relativamente bajo para una corriente de arranque relativamente alta. El voltaje aplicado a los terminales del motor no permanece constante durante el arranque.

En este tipo de arranque la transición al voltaje pleno se da de forma progresiva y más lenta que en el caso del arranque estrella triángulo por lo que la aceleración del motor es más progresiva y suave que en el otro caso.

Al determinar la resistencia se está actuando sobre la corriente de arranque y sobre el par motor.

A continuación se muestran las curvas de corriente y par para este tipo de arranque.

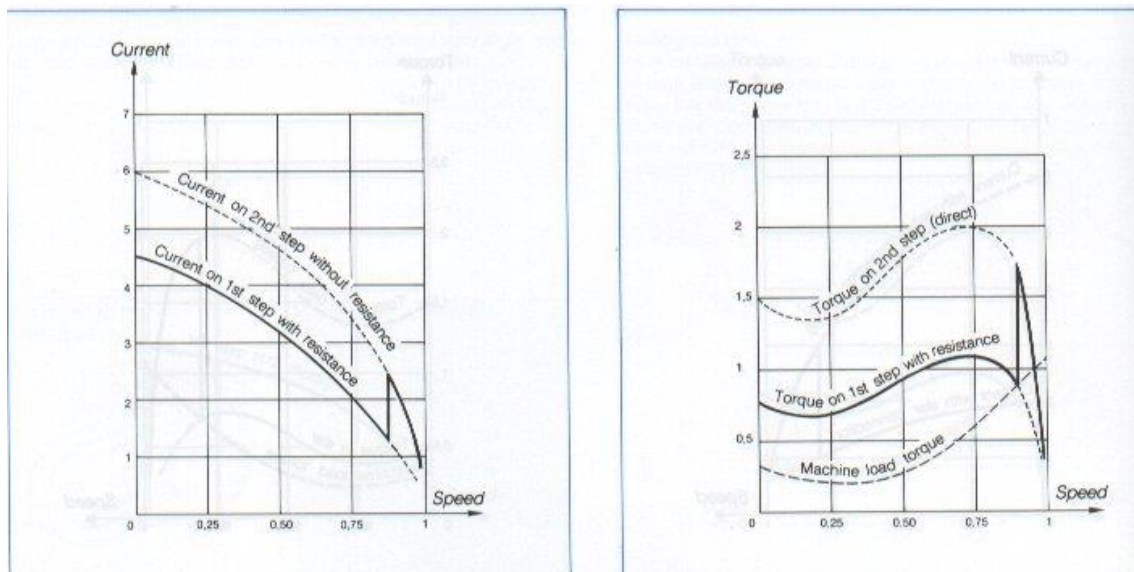


Figura 7: Corriente y par en el arranque.

#### iv. Arranque por autotransformador

En este tipo de arranque, se alimenta al motor con tensión reducida proveniente de un transformador, el cual se desconecta del circuito una vez que el arranque se terminó.

El arranque se realiza en tres etapas:

Primeramente, con el autotransformador conectado en estrella se cierra el contactor de línea de alimentación suministrándole al motor tensión reducida.

Como segunda etapa se abre la estrella del autotransformador. El bobinado que permanece conectado en serie con el motor actúa como una inductancia en serie.

Finalmente, se conecta el motor a plena tensión de suministro desconectando el autotransformador.

Con este tipo de arranque, el motor no es separado de la fuente de alimentación y por ende la corriente no se interrumpe, lo que elimina efectos transitorios típicos de otros métodos de arranque.

En la primera etapa, el par se reduce en proporción al cuadrado del voltaje, lo mismo ocurre con la corriente, la cual es un poco superior debido a la corriente magnetizante del autotransformador.

A los efectos de evitar una reducción importante de velocidad en la segunda etapa, la inductancia del autotransformador debe ser baja y acorde con el motor.

Este método es utilizado principalmente en motores de gran potencia puesto que, en comparación con el método de arranque c/resistencia estática ofrece un mayor par de

arranque con una menor corriente de arranque. Adicionalmente, si el autotransformador tiene varios taps, el voltaje de arranque puede ajustarse con relación a la carga.

A continuación se muestran las curvas de corriente y par para este tipo de arranque.

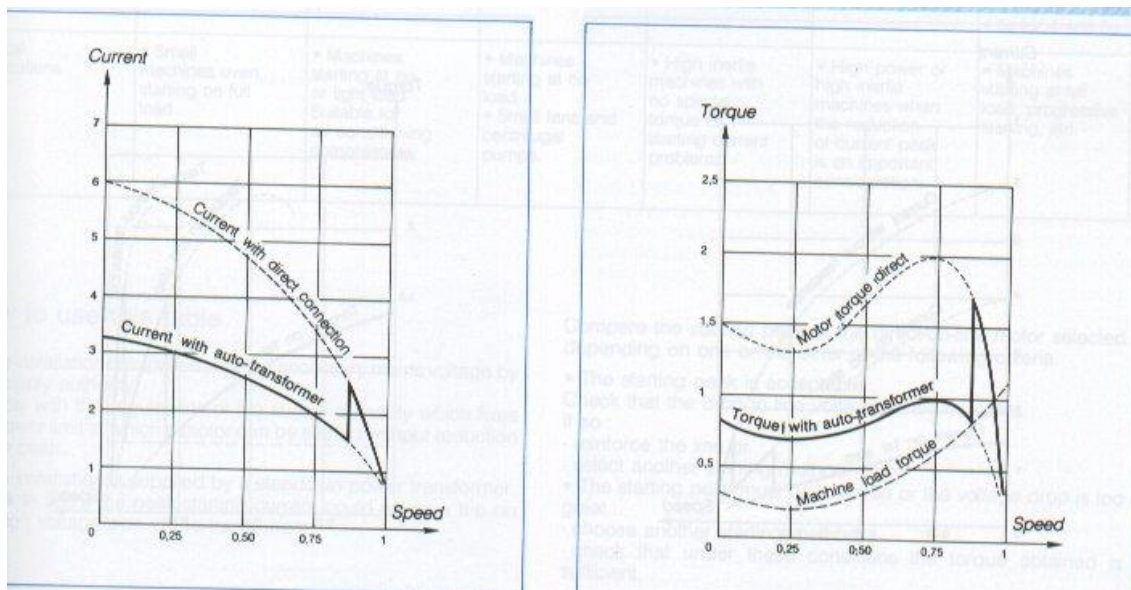


Figura 8: Corriente y par en el arranque.

v. Arranque suave

Con la introducción de elementos de electrónica de potencia para el arranque y comando de motores se han desarrollado los arrancadores suaves, que son equipos que utilizando tiristores aumentan progresivamente la tensión aplicada al motor controlando la corriente tomada por el mismo y manteniendo la frecuencia eléctrica constante.

A continuación, se muestra muy esquemáticamente la composición de este tipo de arrancadores.

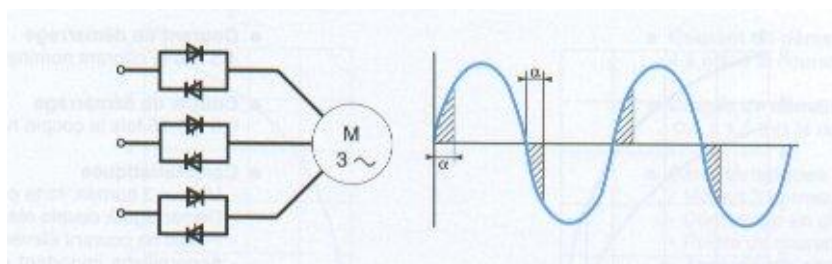
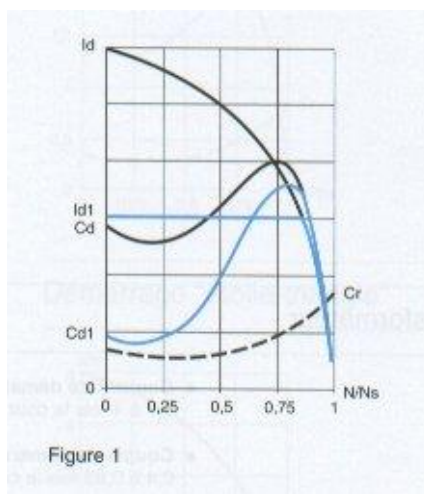


Figura 9: Esquema de arrancador suave.

Al aumentar de forma continua, suave y progresiva la tensión se evitan todos los transitorios vistos en otros métodos de arranque y que son tan perjudiciales para el motor.

Al limitar la corriente de arranque, el par se ve reducido como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 10: Limitación de corriente en el arranque.**

Los arrancadores suaves actuales han ido incorporando funciones adicionales al arranque suave y la limitación de corriente como ser: parada libre o controlada por una rampa de desaceleración, control de par, detección de subcarga, funciones de bypass, protección térmica incorporada del motor, detección de falta de fase, detección de arranque prolongado, boost de tensión, etc.

Existen arrancadores suaves para todo rango de potencia de motor: desde 0.5Hp hasta cientos de Hp.

#### Disposiciones reglamentarias

El reglamento de UTE vigente al momento de preparar los siguientes apuntes establece las siguientes disposiciones con relación al arranque de motores:

“En general, cuando el período entre arranques consecutivos sean superiores a una hora y los motores, con sus respectivas cargas acopladas, puedan alcanzar el 90% de su velocidad de régimen en menos de 2 segundos, se admitirá el arranque directo y simultáneo de motores de inducción cuya suma de potencias nominales no superen el 20% de la potencia contratada para ese suministro. Cuando se respeten los valores de la corriente de arranque expresados en el CUADRO 1, se admitirá el arranque simultáneo de motores hasta la suma de potencias nominales no superior al 40% de la potencia contratada para ese suministro.

En general, los motores de potencia superior a 4kW estarán provistos de dispositivos que no permitan que la relación de corriente entre el período de arranque y el de marcha normal que corresponda a su plena carga, sea superior a la señalada en el cuadro siguiente:



<i>Motores de corriente continua</i>		<i>Motores de corriente alterna</i>	
<i>Potencia nominal del motor</i>	<i>Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga</i>	<i>Potencia nominal del motor</i>	<i>Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga</i>
De 0.75 a 1.5kW	2.5	De 0.75 a 4kW	Directo
De 1.5kW a 5kW	2	De 4kW a 22kW	3.5
De más de 5 kW	1.5	De más de 22 kW	3

**Tabla 1: Corrientes arranque motores.**

## 4. TIPOS DE FALLAS EN LOS MOTORES Y SUS CAUSAS

De estudios realizados por una importante firma de reparación de motores de inducción norteamericana se obtienen los siguientes datos aproximados de tipos de fallas de los motores e incidencia de las mismas.

Causas	Incidencia Parcial	Incidencia total
Sobrecarga		25%
Deterioro de aislación		5%
Marcha monofásica		10%
Falla de rulemanes / cojinetes		12%
Contaminación:		43%
Humedad	17%	
Aceite y grasa	20%	
Químicos	1%	
Polvo y astillas	5%	
Varios		5%
Total:		100%

**Tabla 2: Fallas en motores.**

Otros estudios concluyen que una tercera parte de las fallas se debe a roturas mecánicas o que la mitad de ellas se debe a desperfectos en el rotor y cojinetes.

Estudiemos en mayor detalle este tipo de fallas:

i. Contaminación:

Los elementos contaminantes se introducen en el motor por el aire de refrigeración y atacan la aislación. Por eso, debe tenerse en cuenta la pureza del ambiente al elegir la protección del motor. Es de vital importancia contar con dispositivos de detección de fallas prematuras (control periódico de la resistencia de aislación entre bobinas y contra tierra)

ii. Falla de rulemanes / cojinetes:

Esta falla se debe a conexiones mecánicas incorrectas, correas muy tensadas, desalineamiento de ejes, falta de lubricación, entre otros.

Los motores eléctricos utilizan habitualmente dos tipos de soporte mecánico del eje: mediante rulemanes (para motores de menos de 500HP) o mediante cojinetes de fricción. En el primer caso, la falla de un rulemán se desarrolla muy rápidamente, llevando al motor a trabarse y siendo prácticamente imposible que un dispositivo de protección pueda detectarla antes de que el rulemán se destruya completamente.

En el segundo caso, es posible la fácil detección del inicio de la falla por falta de lubricación, en base a la determinación del aumento de temperatura.

### iii. Sobrecarga:

Características de los motores según su clase de aislación (norma IEC 34-1 ítem 15):

Clase	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima permanente admisible (°C)
A		105
E	75	
B	80	130
F	100	155
H	125	180

**Tabla 3: Clases aislación motores.**

Las clases B y F son las más comúnmente utilizadas en motores normales.

Por sobretemperatura, y dependiendo de la duración de la misma, la aislación del enrollamiento del motor se deteriora y su vida útil disminuye.

La vida útil de un motor, normalmente estimada en 20 años, disminuye a medida que se eleva la temperatura del aislante sobre la del ambiente, fijada en 40°C, reduciéndose a la mitad por cada aumento de temperatura de 8 o 10°C por encima del calentamiento medio fijado por el aislante.

Las principales causas de este sobrecalentamiento son:

- sobrecarga mecánica
- funcionamiento asimétrico (teniendo como caso extremo el funcionamiento monofásico)
- limitaciones o impedimentos que puedan existir para la refrigeración del motor.

iv. Funcionamiento asimétrico o desbalanceado:

Para estudiar este tipo de falla se requieren conocimientos de componentes simétricas que escapan el alcance de este curso. De todas formas, se intentará dar una idea descriptiva de lo que ocurre: cuando el sistema de tensiones aplicado al motor se encuentra desbalanceado aparece una componente de secuencia negativa en la corriente, la que origina un campo giratorio en sentido contrario al de la secuencia positiva que induce en el rotor corrientes de frecuencia  $(2-g)f$ , siendo  $f$  la frecuencia de la red y  $g$  el deslizamiento. Esta corriente origina un par opuesto al directo lo que causa una reducción de par proporcionalmente menor al desbalance de tensiones.

Se puede demostrar que:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{1}{X_{rp}}$$

Siendo

- $X_{rp}$  la reactancia equivalente con rotor calado, que es igual a la inversa de la relación entre corrientes de arranque y nominal
- $I_1, V_1$ , componentes directas de corriente y tensión respectivamente
- $I_2, V_2$ , componentes de secuencia negativa de corriente y tensión respectivamente.

Es decir, para un motor cuya relación de corriente de arranque a nominal sea 5, un desbalance en tensiones del 5% produce un desbalance en corrientes del orden de 25%.

La principal dificultad se produce por el aumento de pérdidas en el rotor, el que está comprendido entre 3 y 15 veces dependiendo del tipo de rotor. Este aumento de  $Rl_2$  incrementa la temperatura alcanzando valores críticos en muy corto tiempo. Este aumento es usualmente localizado, no se trata de un calentamiento global del rotor y puede producirse sin un aumento importante de la corriente estatórica, principalmente si el motor no está a plena carga. Este tipo de falla puede pasar entonces desapercibida a la protección por sobrecorriente.

Caso extremo de esto es el funcionamiento con una fase abierta.

## 5. SALIDA A MOTOR (comando y protección de motores)

Los objetivos de una salida a motor son los siguientes:

- Comandar el motor (encendido y apagado del motor)
- Proteger a sus componentes contra los efectos de fallas de origen eléctrico
- Asegurar la seguridad del personal
- Maximizar la continuidad de servicio.

Para cumplir con los objetivos planteados, toda salida a motor debe cumplir con cuatro funciones básicas:

- Seccionamiento: separación del motor de la red de distribución eléctrica que lo alimenta.
- Conmutación o Comando: Establecimiento y corte de la corriente que tome la carga.
- Protección contra cortocircuitos: protección del motor contra los daños causados por altas corrientes.
- Protección contra sobrecargas: protección del motor contra los efectos de las corrientes de sobrecarga.

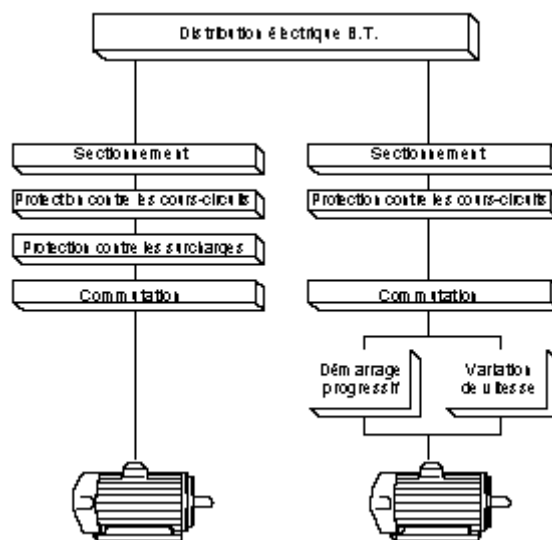


Figura 11: Esquema de salida motor.

Los componentes que pueden integrar una salida a motor son:

- 1) Contactores
- 2) Relés térmicos
- 3) Guardamotors magnéticos
- 4) Fusibles
- 5) Guardamotors magnetotérmicos
- 6) Seccionadores
- 7) Seccionadores portafusibles c/fusibles.

i. Contactores:

El contactor cumple con la función de comando o conmutación.

Un contactor es un dispositivo mecánico de conexión controlado por un electroimán con una operación tipo on/off.

Cuando la bobina del electroimán se encuentra energizada, el contactor se cierra y completa el circuito entre la fuente y la carga a través de sus contactos de potencia.

Dependiendo de la tecnología del contactor, la parte móvil del electroimán que maneja los contactos móviles puede funcionar por rotación sobre un eje, por desplazamiento paralelo con relación a una parte fija o por una combinación de ambos.

Cuando la bobina es desenergizada, el contactor abre debido a la acción de un resorte de presión o de la fuerza de la gravedad de los propios contactos según el tipo constructivo de contactor.

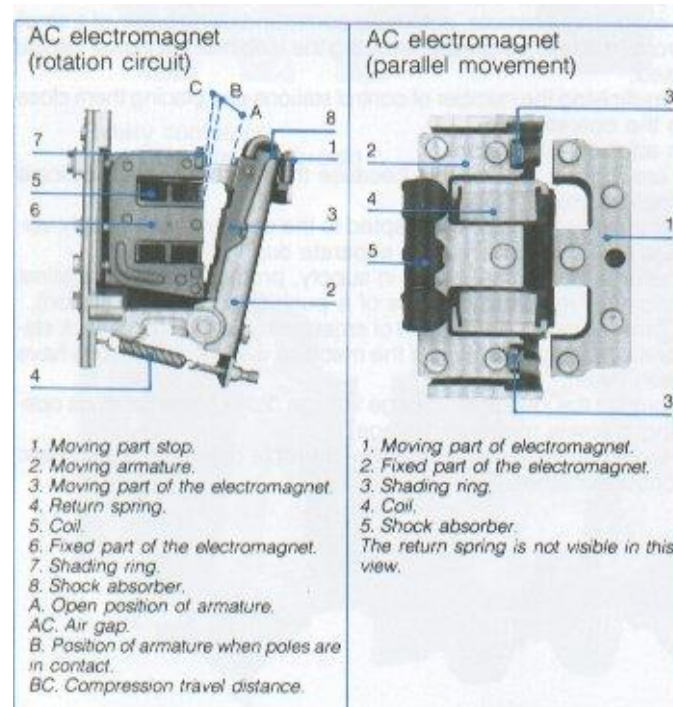


Figura 12: Constructivo de contactor.

Ventajas que ofrecen los contactores:

- Posibilidad de abrir o cerrar grandes corrientes a través de un dispositivo de baja corriente (bobina del contactor)
- Elevado número de maniobras
- Adecuados para servicio intermitente y continuo
- Posibilidad de implementación de comandos remotos y/o automáticos
- Son resistentes y confiables puesto que no contienen elementos internos delicados

#### Especificaciones técnicas características de un contactor:

- Categoría de utilización: La categoría de utilización define las condiciones de establecimiento y corte de la corriente dependiendo de la corriente nominal  $I_e$  y la tensión nominal  $U_e$ .

La categoría de utilización depende de la naturaleza de la carga a alimentar (motor a jaula de ardillas, motor rotor bobinado, resistencias, etc.) y de las condiciones en las que el establecimiento o el corte de la corriente se dan (motor en funcionamiento normal, corte durante el arranque, motor con rotor bloqueado, etc.).

La norma IEC 947 las clasifica en:

AC1: corresponde a todo tipo de cargas AC con  $\cos \varphi \geq 0.95$

AC2: corresponde a la operación de motores de rotor bobinado. Al cierre el contactor cierra sobre una corriente de arranque que es del orden de 2.5 veces la corriente nominal del motor. El contactor abre la corriente de arranque a un voltaje que no excede el voltaje de alimentación.

Se encuentran en esta categoría algunos equipos para puentes grúa y máquinas de gran potencia con tiempos de arranque prolongados.

AC3: corresponde a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor en funcionamiento normal del motor. El contactor cierra sobre una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y abre la corriente nominal del mismo con un voltaje entre bornes que será aproximadamente 20% del voltaje de la fuente de alimentación. La apertura es este caso no es severa.

AC4: corresponde a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor sobre la corriente de arranque del motor. El contactor cierra sobre una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y abre la misma corriente con un voltaje entre bornes que será mayor cuanto menor sea la velocidad del motor, pudiendo llegar a ser de la misma magnitud que el voltaje de la fuente de alimentación.

Se encuentran en esta categoría algunos equipos de izaje de pequeñas potencias.

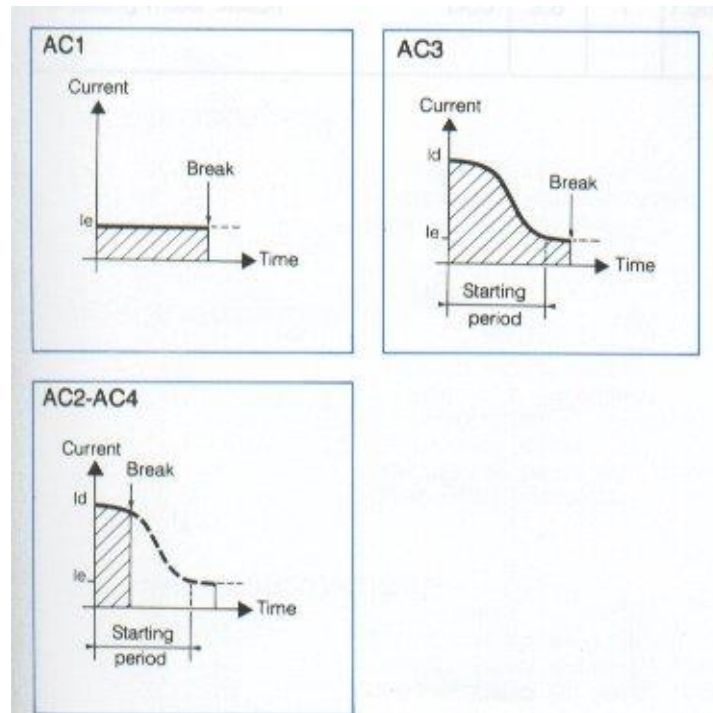


Figura 13: Clases de contactores.

DC1: Cualquier carga en DC que tenga una constante de tiempo  $L/R \leq 1\text{ms}$

DC2, DC3, DC4 y DC5: corresponde a la operación de motores de corriente continua, con distintas constantes de tiempo y distintos regímenes de cierre y apertura del contactor.

- **Corriente nominal  $I_e$ :** Se define en función del voltaje nominal  $U_e$ , la categoría de utilización y la temperatura ambiente del contactor.
- **Corriente nominal térmica convencional  $I_{th}$ :** Es la corriente que puede conducir un contactor cerrado por un período superior a 8 horas sin que el aumento de temperatura producida por la misma supere los límites establecidos en la norma.
- **Corriente de corta duración permitida:** Es la corriente que puede conducir un contactor cerrado durante un período de tiempo corto luego de un período sin carga sin que se produzca un sobrecalentamiento peligroso.
- **Voltaje nominal  $U_e$ :** Es el voltaje que, junto con la corriente nominal  $I_e$ , determina el uso del contactor. Los ensayos establecidos en la norma así como la categoría de utilización asociada a un contactor están basados en este valor de tensión. En circuitos trifásicos se expresa como el valor compuesto de la tensión.
- **Voltaje nominal de control  $U_c$ :** es el voltaje nominal del circuito de control del contactor y en él se basan las características de operación.
- **Voltaje nominal de aislación  $U_i$ :** Este es el valor de voltaje utilizado para definir las características de aislación del contactor y es el utilizado en los ensayos dieléctricos para determinar caminos de fugas y distancias eléctricas.



- **Voltaje nominal de impulso  $U_{imp}$ :** El valor pico de una onda de tensión de impulso que el contactor puede soportar sin dañarse.
- **Potencia nominal:** Potencia nominal del mayor motor estándar que puede ser comandado por el contactor a la tensión nominal  $U_e$ .
- **Poder de corte:** Máximo valor de corriente que el contactor puede abrir bajo condiciones de apertura establecidas en la norma. No debe someterse al contactor a requerimientos de aperturas de corrientes mayores a su poder de corte.
- **Poder de establecimiento:** Máximo valor de corriente que el contactor puede establecer bajo condiciones de establecimiento fijadas en la norma.
- **Factor de carga (m):** relación entre el tiempo en que fluye la corriente (t) y la duración total del ciclo de carga (T)

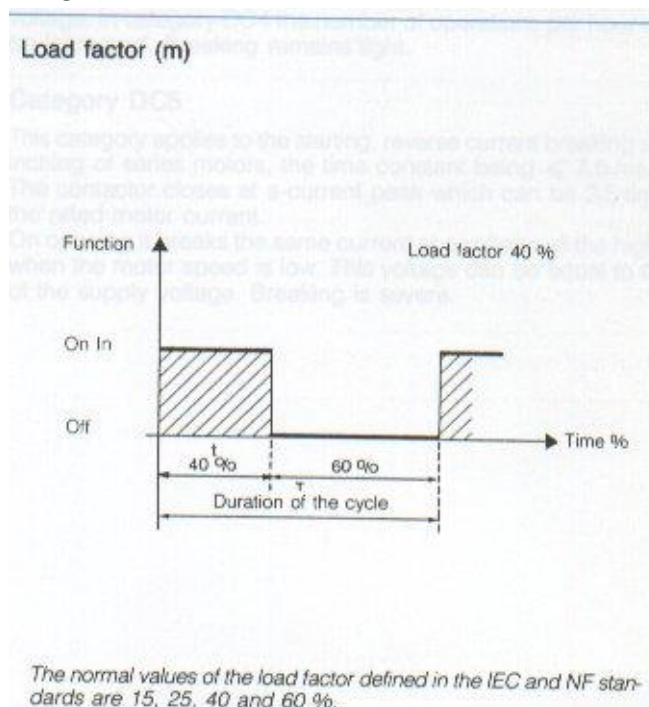
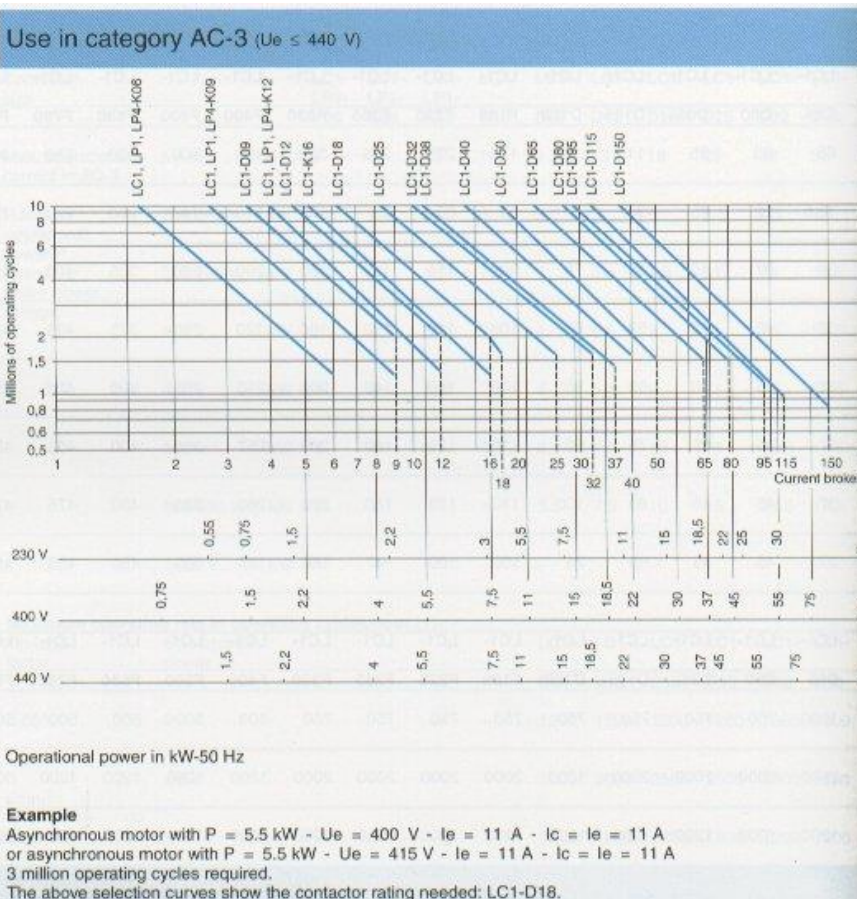


Figura 14: Factor de carga.

- **Impedancia de polo:** es la suma de la impedancia de todos los componentes del circuito entre el terminal de entrada y el terminal de salida del contactor. Se expresa como  $R+jX$  y está dada a una frecuencia nominal de 50Hz. Se da un valor promedio por polo a  $I_e$ .
- **Endurancia eléctrica:** Es la cantidad promedio de ciclos de carga que los contactos principales del contactor pueden realizar sin mantenimiento. La endurancia eléctrica depende de la categoría de utilización, la corriente nominal  $I_e$  y el voltaje nominal  $U_e$ .
- **Endurancia mecánica:** Es la cantidad promedio de ciclos de operación en vacío (es decir, sin corriente pasando por el contactor) que los contactos principales del contactor pueden realizar sin falla mecánica.

A modo de ejemplo, se adjuntan tablas de catálogos de contactores.

Operational current and power conforming to IEC ( $\theta \leq 60^\circ\text{C}$ )											
Contactor size		LC1-LP1-K06	LC1-LP1-K09	LC1-LP1-K12	LC1-K16	LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32	
Max. operational current in AC-3	$\leq 440\text{ V}$	A	6	9	12	16	9	12	18	25	32
Rated operational power P (standard motor power ratings)	220/240 V	kW	1.5	2.2	3	3	2.2	3	4	5.5	7.5
	380/400 V	kW	2.2	4	5.5	7.5	4	5.5	7.5	11	15
	415 V	kW	2.2	4	5.5	7.5	4	5.5	9	11	15
	440 V	kW	3	4	5.5	7.5	4	5.5	9	11	15
	500 V	kW	3	4	4	5.5	5.5	7.5	10	15	18.5
	660/690 V	kW	3	4	4	4	5.5	7.5	10	15	18.5
1000 V	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Maximum operating rate in operating cycles/hour (1)</b>											
On-load factor	Operational power						LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32
$\leq 85\%$	P	-	-	-	-	-	1200	1200	1200	1200	1000
	0.5 P	-	-	-	-	-	3000	3000	2500	2500	2500
$\leq 25\%$	P	-	-	-	-	-	1800	1800	1800	1800	1200



Maximum operational current (open-mounted device)											
Contactor size		LC1-LP1-K09	LC1-LP1-K12	LC1-D09	LC1-D12 DT20	LC1-D18 DT25	LC1-D25 DT32	LC1-D32 DT40	LC1-D38 DT60	LC1-D38 DT60	LC1-D38 DT60
Maximum operating rate in operating cycles/hour		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Connections/ cabling conforming to IEC 947-1	cable c.s.a. mm <sup>2</sup>	4	4	4	4	4	6	6	10	15	10
	bar size mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Operational current in AC-1 in A, according to the ambient temperature, conforming to IEC 947-1	≤ 40 °C	A	20	20	25	20	25	32	40	50	60
	≤ 60 °C	A	20	20	25	20	25	32	40	50	60
	≤ 70 °C	A (at Uc)(1)	(1)	(1)	17	(1)	17	22	28	35	45
Maximum operational power ≤ 60 °C	220/230 V kW	8	8	9	8	9	11	14	18	21	18
	240 V kW	8	8	9	8	9	12	15	19	23	19
	380/400 V kW	14	14	15	14	15	20	25	31	37	31
	415 V kW	14	14	17	14	17	21	27	34	41	34
	440 V kW	15	15	18	15	18	23	29	36	43	36
	500 V kW	17	17	20	17	20	23	33	41	49	41
	660/690 V kW	22	22	27	22	27	34	43	54	65	54
	1000 V kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Please consult your Regional Sales Office.

**Increase in operational current by parallelling of poles**  
 Apply the following multiplying factors to the current values given above. The factors take into account the often unbalanced current distribution between phases:  
 - 2 poles in parallel: K = 1.6  
 - 3 poles in parallel: K = 2.25  
 - 4 poles in parallel: K = 2.8

Figura 15: Ejemplo catalogo contactores.

Como se puede observar, al ser el régimen AC1 menos estricto que el régimen AC3, el mismo contactor tiene un valor de corriente nominal le mayor para AC1 que para AC3.

La norma que especifica las características técnicas de los contactores es la norma IEC947-4-1 - “Contactores y Guardamotors – Contactores y Guardamotors electromecánicos”.

ii. Relés térmicos:

Estos relés cumplen con la función de protección térmica del motor contra sobrecargas y van asociados a un contactor que es el que realiza la apertura del circuito de potencia.

Puesto que protegen solamente contra sobrecargas, los relés térmicos deben complementarse con una protección contra cortocircuitos.

El relé de imagen térmica simula, a través de la utilización de un bimetálico, el calentamiento y enfriamiento del motor protegido en base a sus constantes de tiempo, vigilando las temperaturas alcanzadas en comparación con la máxima admisible como función de la duración de la sobrecarga. La temperatura es obtenida de forma indirecta, a través de la medición de la corriente.

A continuación se muestra un dibujo que ilustra el principio de funcionamiento del relé térmico:

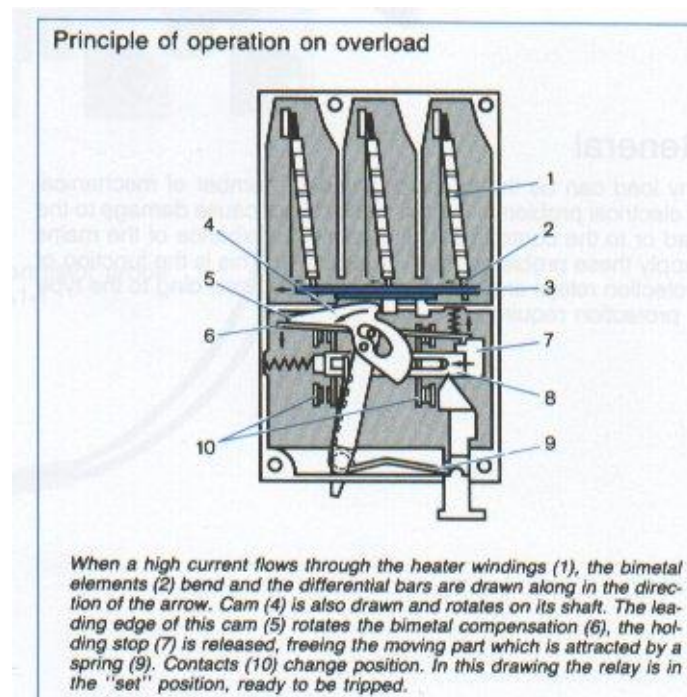


Figura 16: Esquema funcionamiento relé térmico.

Suponiendo que el proceso térmico que tiene lugar en un motor de inducción sometido a un régimen de sobrecarga es un proceso adiabático, es decir que todo el calor desarrollado contribuye a la elevación de temperatura de los arrollamientos, se llega a que el tiempo de sobrecarga admisible  $t_a$  del motor está dado por:

$$t_a = \tau_m \frac{A - I_{cp}^2}{I^2 - I_{cp}^2}$$

siendo  $\tau_m$  la constante de tiempo térmica de la máquina,  $I$  la corriente de sobrecarga en pu,  $I_{cp}$  la intensidad de precarga en pu y  $A$  un coeficiente mayor que 1, usualmente 1.3.

A continuación se muestra una expresión gráfica de la ecuación anteriormente expresada:

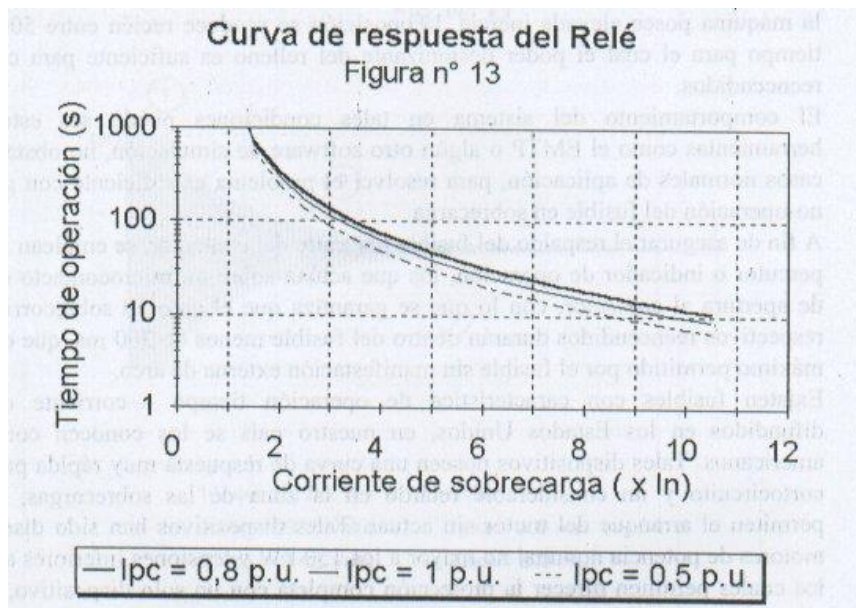


Figura 17: Respuesta de relé térmico.

Se observa entonces que el tiempo de sobrecarga admisible está relacionado con la condición de precarga del motor, por lo que el relé térmico deberá ser sensible al estado de precarga. Es por esto que la mayoría de los relés térmicos dan sus curvas para distintos estados de precarga.

La temperatura ambiente es un parámetro muy importante y variaciones de la misma pueden influir en el comportamiento del relé. Es por este motivo que la mayoría de los relés térmicos actuales están compensados, utilizando un elemento bimetalico de compensación independiente del elemento principal y sometido únicamente a la temperatura ambiente el cual balancea el comportamiento del bimetalico principal. Con esta compensación, se garantiza el comportamiento uniforme del relé para un rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+60^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

Adicionalmente, los relés térmicos pueden ser térmico-diferenciales, agregando a la protección contra sobrecargas la protección contra desbalance de corrientes.

Los relés térmicos deben proteger el motor pero deben a su vez soportar la corriente de arranque durante el tiempo de arranque sin disparar.

La norma que especifica este tipo de relés es la IEC 947-4 y establece distintas clases de relés, especificando tiempos de no apertura y de apertura para cada una de ellas como sigue:

Clase	Tiempos de intervención	
	No disparo	Disparo

	1.05 I <sub>r</sub>	1.20 I <sub>r</sub>	1.5 I <sub>r</sub>	7.2 I <sub>r</sub>
10A	> 2hs.	< 2hs.	< 2min.	2 a 10 seg.
10	> 2hs.	< 2hs.	< 4min.	4 a 10 seg.
20	> 2hs.	< 2hs.	< 8min.	6 a 20 seg.
30	> 2hs.	< 2hs.	< 12min.	9 a 30 seg.

Tabla 4: Clases de relés térmicos.

La selección de la clase del relé térmico a utilizar para la protección de un motor deberá tener en cuenta la clase de aislación del motor así como su régimen de funcionamiento: ciclo de operación, arranque, parada, etc.

Los rangos de corrientes nominales de los relés térmicos van desde 0.10A a 200A aproximadamente.

A continuación se muestran curvas de disparo para los relés clase 10A y 20.

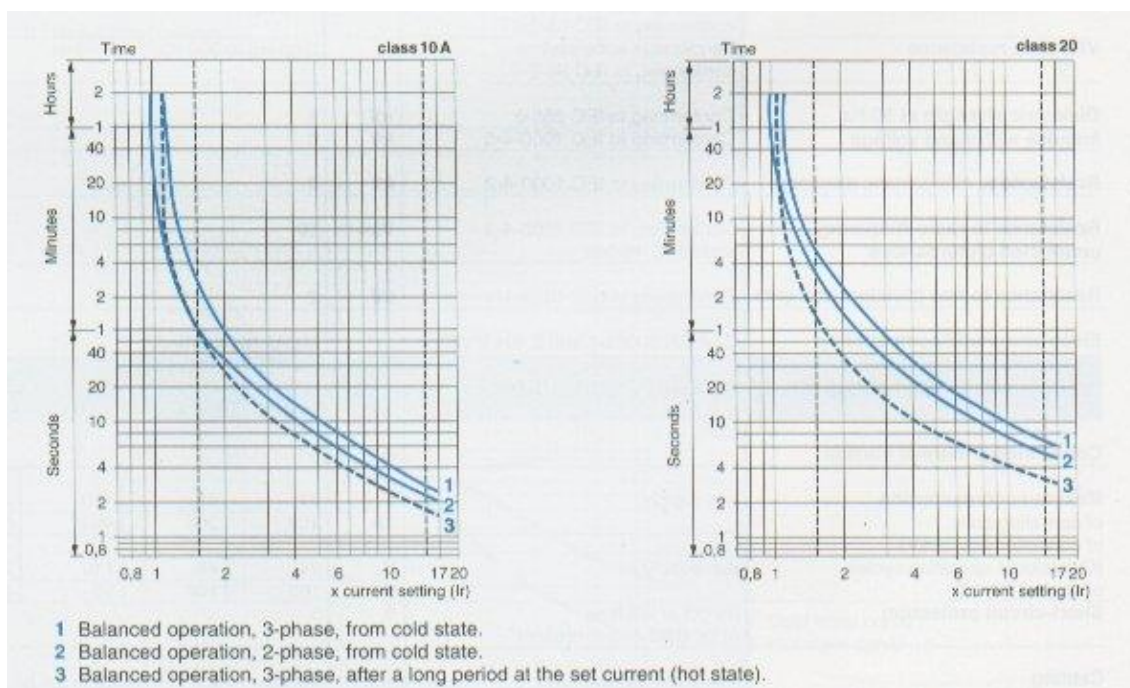


Figura 18: Curvas de disparo de relés térmicos 10 y 20 A.

iii. Guardamotores magnéticos:

Son dispositivos de protección contra cortocircuito, de corte tripolar.

Los guardamotores magnéticos cumplen la función de protección contra cortocircuitos, cumpliendo adicionalmente la función de seccionamiento.

Los requisitos para que cumplan con la función de protección contra cortocircuito son básicamente una pronta detección de la corriente de defecto y una rápida apertura de los contactos. Esto conduce a que los guardamotors magnéticos sean aparatos limitadores.

A continuación se presenta la curva típica de un guardamotor magnético:

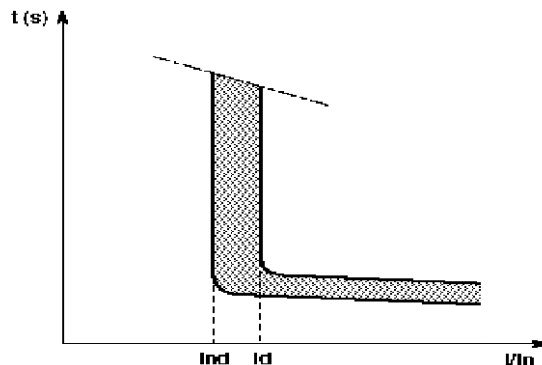


Figura 19: Curva de guardamotor magnético.

Siendo  $I_{nd}$  el umbral de no disparo e  $I_d$  el umbral de disparo. El umbral de disparo se ubica en promedio en los  $13I_n$ , dependiendo de los modelos.

El guardamotor magnético presenta un elevado poder de corte, siendo el rango del mismo desde 10kA hasta 100kA aproximadamente.

Usualmente, para completar la función de protección de una salida motor, el guardamotor magnético debe acompañarse de un contactor con relé térmico. A continuación, se muestra a modo de ejemplo la curva de disparo de un conjunto guardamotor magnético – relé térmico:

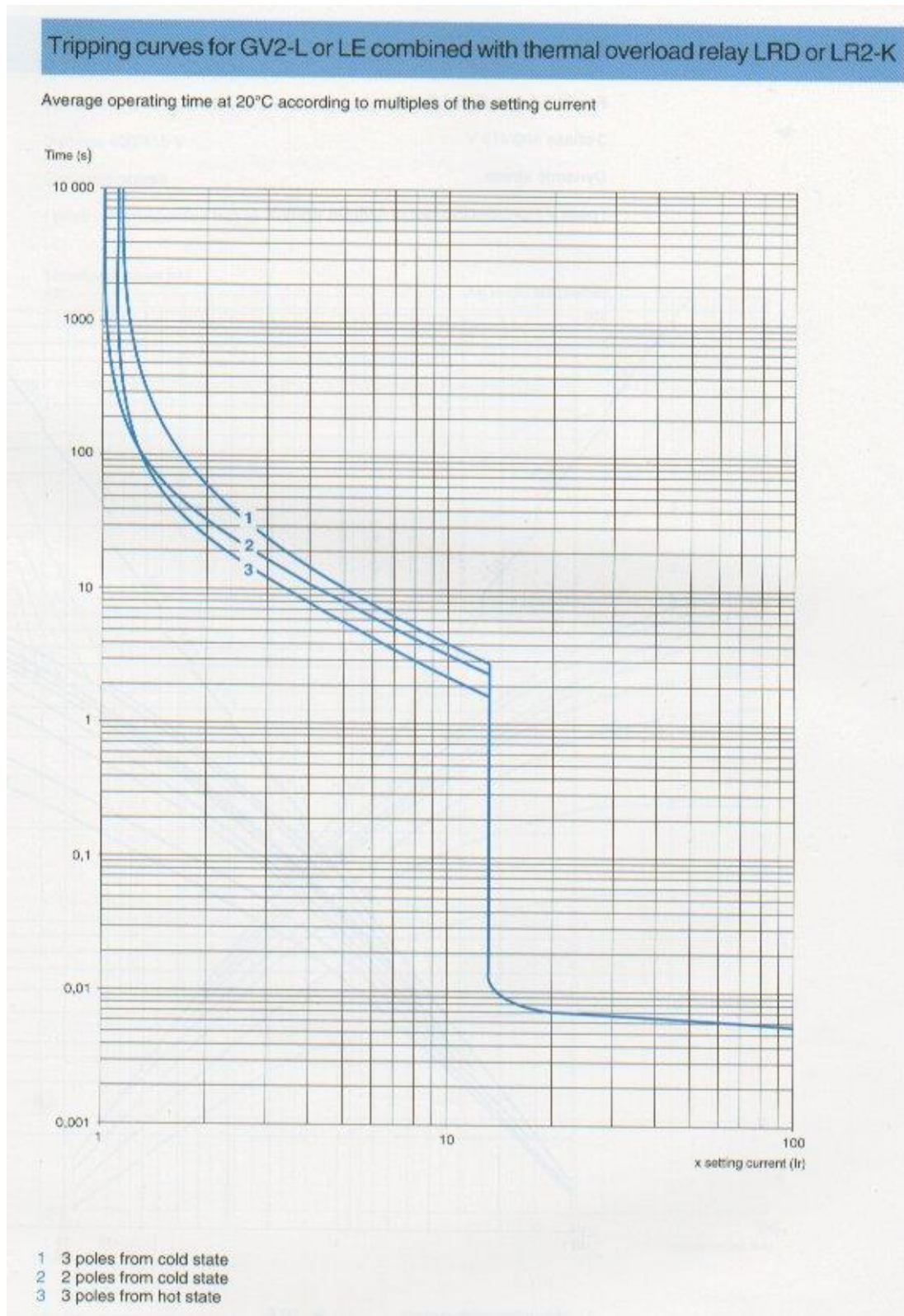


Figura 20: Curva disparo conjunto guardamotor magnético – relé térmico.

La norma que especifica las características técnicas de los guardamotors es la norma IEC947-4-1 - “Contactores y Guardamotors – Contactores y Guardamotors electromecánicos”.



iv. Fusibles:

El fusible, utilizado como elemento componente de una salida a motor, solo debe actuar frente a cortocircuitos. Es decir, las sobrecargas no deben producir la operación del fusible, por lo cual debe emplearse el fusible de respaldo, llamado para baja tensión tipo aM.

La curva característica del fusible aM lo hace insensible a las sobrecargas, siendo diseñado el elemento fusible de este tipo de fusibles más resistente a la fatiga mecánica debida a los esfuerzos de contracción y dilatación térmica causadas por las sobrecorrientes de los sucesivos arranques.

Se muestra a continuación una figura donde se comparan las curvas de los fusibles tipo aM y gL (uso general).

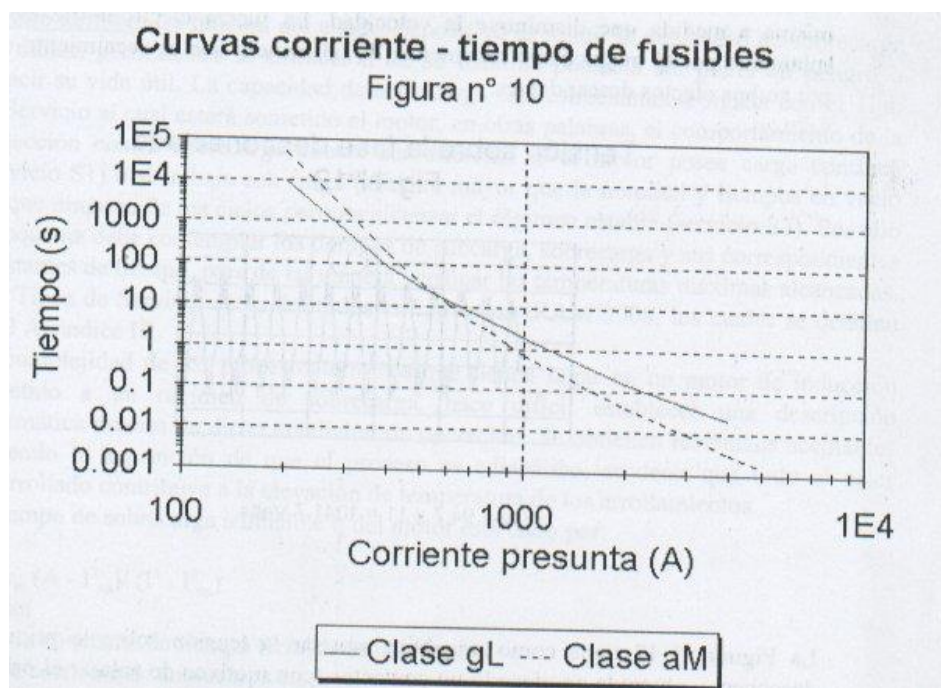


Figura 21: Curvas de fusible.

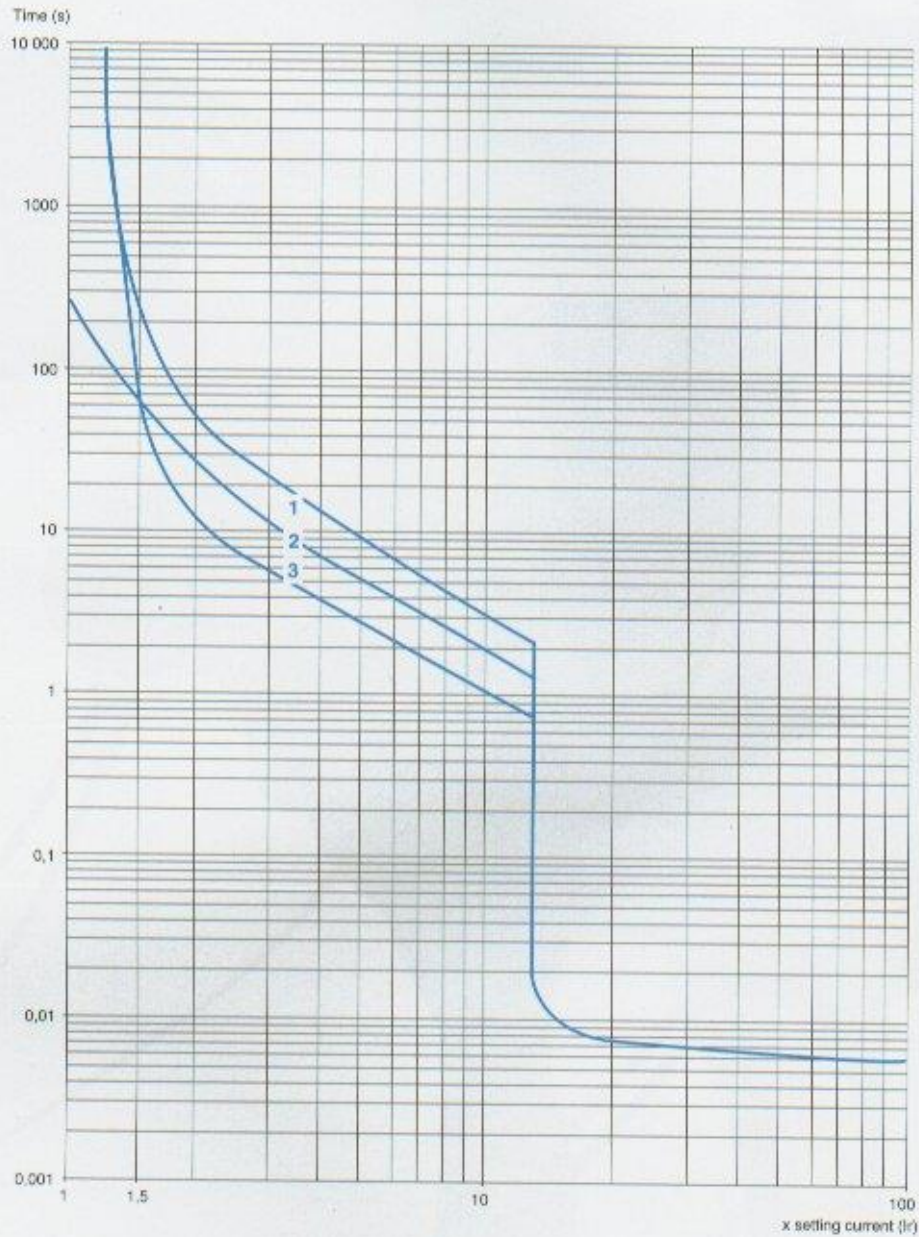
v. Guardamotores magnetotérmicos

Son dispositivos que agrupan en un mismo aparato las funciones de protección contra cortocircuitos y contra sobrecargas.

A continuación, se adjuntan a modo de ejemplo, curvas de disparo, curvas de limitación de corriente y curvas de  $I^2t$  de un guardamotor magnetotérmico.

### Thermal-magnetic tripping curves for GV2-ME and GV2-P

Average operating time at 20 °C according to multiples of the setting current



- 1 3 poles from cold state
- 2 2 poles from cold state
- 3 3 poles from hot state

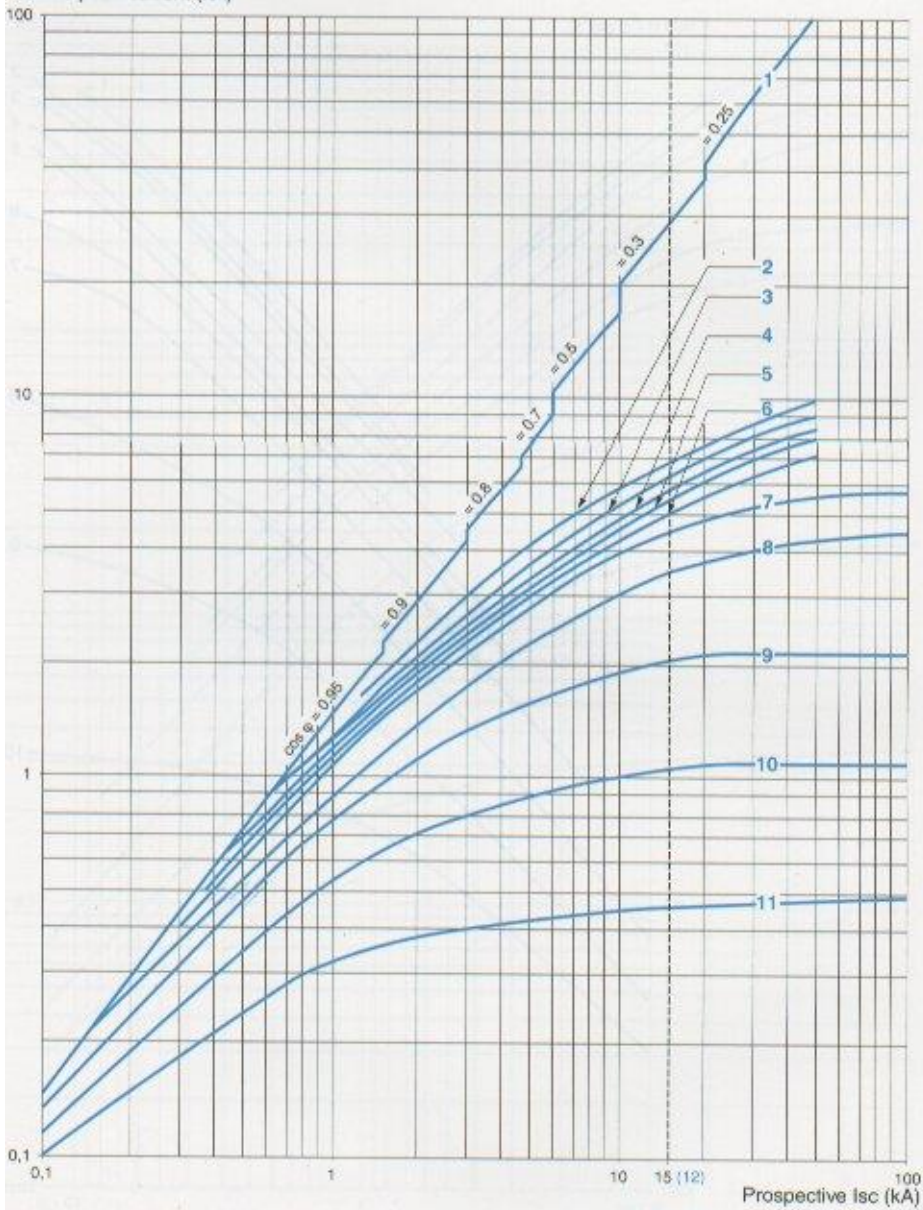
### Current limitation on short-circuit for GV2-ME and GV2-P

3-phase 400/415 V

#### Dynamic stress

$I_{peak} = I_{sc} \text{ (prospective)} \text{ at } 1.05 U_e = 435 \text{ V}$

Limited peak current (kA)



- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1 Maximum peak current | 7 6-10 A  |
| 2 24-32 A              | 8 4-6.3 A   |
| 3 20-25 A              | 9 2.5-4 A   |
| 4 17-23 A              | 10 1.6-2.5 A  |
| 5 13-18 A              | 11 1-1.6 A  |
| 6 9-14 A               | 12 Limit of rated ultimate breaking capacity on short-circuit of GV2-ME (14, 18, 23 and 25 A ratings) |

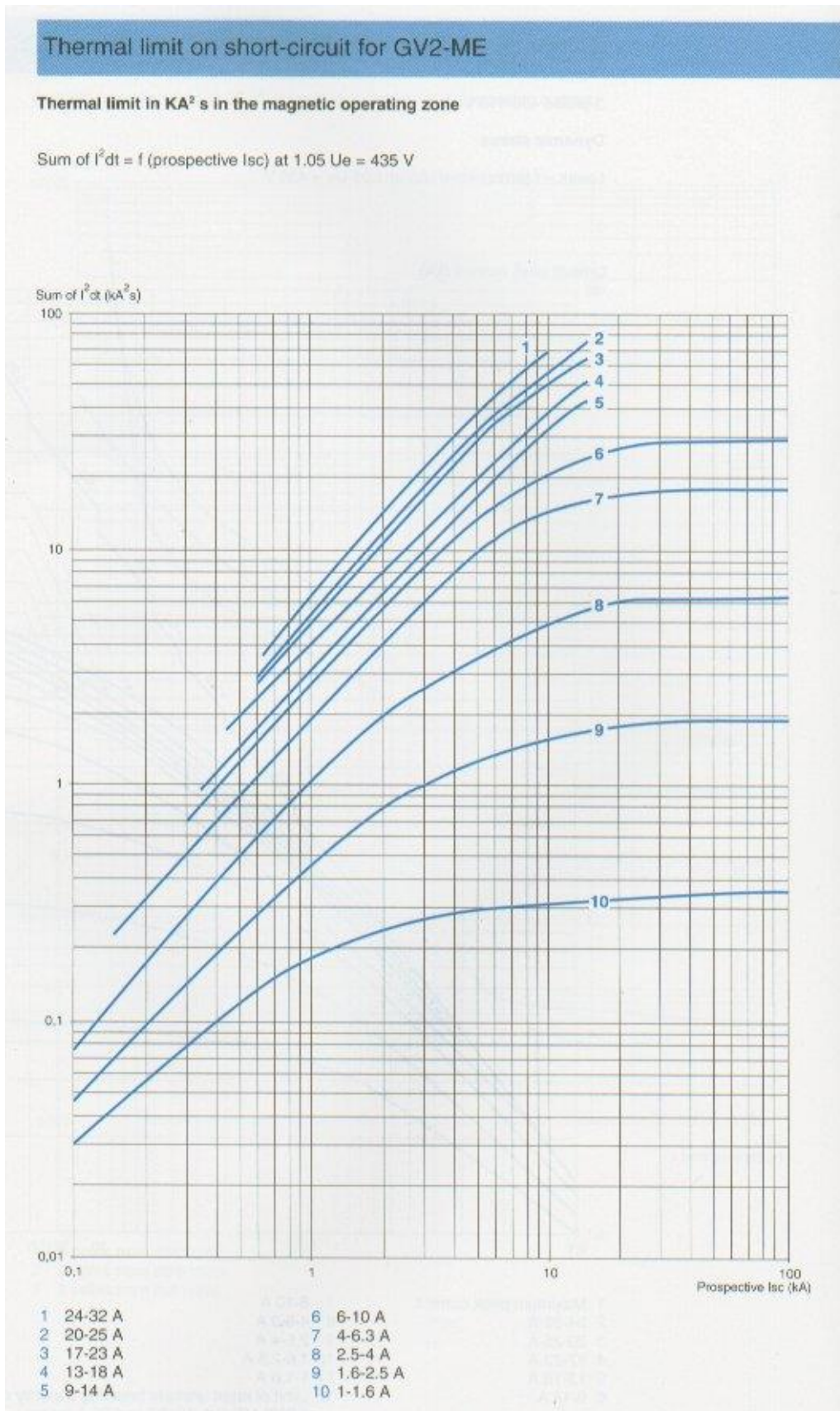


Figura 22: Curvas disparo guardamotor magnetotérmico.

vi. Otros dispositivos de protección

Los dispositivos estudiados hasta ahora calculan la temperatura en forma indirecta, a través de mediciones de corriente.

Para aquellos motores que por ser críticos para el proceso del que forman parte se entiende que deben ser protegidos de forma aún más eficiente, la protección contra sobrecargas se realiza mediante dispositivos térmicos o sensores de temperatura, termistores (resistencias variables con la temperatura), colocados dentro del bobinado del motor, procurando sensar la temperatura del punto más caliente. Las sondas empleadas son del tipo de coeficiente de temperatura positivo (PTC), empleándose también en ciertos casos sondas de coeficientes negativos (NTC).

Igualmente, para estos motores puede emplearse adicionalmente, relés diferenciales, relés de desbalance de fases, relés de subtensiones, etc.

Cuando para arrancar el motor o cuando debido a que la aplicación requiere control de velocidad del motor se utiliza un arrancador suave o un variador de velocidad, dichos equipamientos ya traen usualmente integrada la protección contra sobrecarga del motor, por lo que, de utilizarse los mismos, puede seleccionarse una salida motor que obvie la función protección contra sobrecargas.

Conclusiones:

A continuación se presenta un cuadro con los distintos dispositivos de protección y comando y las funciones que cumplen los mismos:

	Seccionamiento	Comando	Protección contra cortocircuitos	Protección contra sobrecargas
Contactador		SI		
Relé térmico				SI
Guardamotor magnético	SI		SI	
Seccionador porta fusibles (c/fusibles)	SI		SI	
Guardamotor magnetotérmico	SI		SI	SI

Tabla 5: Resumen de funciones de dispositivos de protección y comando.

Luego de definidas las 4 funciones principales que debe cumplir toda salida a motor y de estudiados los distintos aparatos que se utilizan para cumplir con las mismas se llega a que existen distintas opciones para una salida a motor:

- 1) Salida a 3 aparatos: CONTACTOR + RELE TERMICO + GUARDAMOTOR MAGNETICO o CONTACTOR + RELE TERMICO + SECCIONADOR PORTA FUSIBLE
- 2) Salida a 2 aparatos: CONTACTOR + GUARDAMOTOR MAGNETOTERMICO
- 3) Salida a 1 aparato: algunos fabricantes han comenzado a ofrecer un relé electrónico multifunción que cumple con todas las funciones requeridas.

## 6. COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DE UNA SALIDA A MOTOR

La norma IEC 947-4-1 establece los requisitos a cumplir por la combinación de elementos que constituyen una salida a motor y especifica 3 tipos de coordinación:

Coordinación tipo 1(IEC 947-4-1): Este tipo de coordinación permite, ante una falta, daño a todos o a algún elemento componente del arranque motor, pero el citado deterioro debe ser contenido dentro del gabinete. No deben existir riesgos ni para la instalación ni para el personal involucrado. Para continuar con el servicio se requerirá la reparación o el reemplazo de partes componentes.

Coordinación tipo 2 (IEC 947-4-1) : Los únicos daños permitidos ante una falta para este tipo de coordinación son la soldadura leve de los contactos, sin riesgo para el personal e instalación, debiendo poder continuar con el servicio sin necesidad de ningún recambio o reparación.

Coordinación tipo 3 o total (IEC 947-6-2) en la cual no se permite daño alguno a ningún componente del arranque motor, impidiendo incluso la soldadura de los contactos del contactor o arrancador.

El estudio de la coordinación entre los distintos dispositivos se efectúa en forma gráfica. Para poder realizar el mismo se deben tener los siguientes datos:

- Curva corriente – tiempo del relé térmico
- Curva corriente – tiempo del fusible de respaldo o guardamotor magnético
- Curva de corriente de arranque del motor
- Capacidad de ruptura del contactor
- Capacidad de sobrecarga y resistencia al cortocircuito del cable de alimentación

Las condiciones que se deben cumplir con la coordinación son las siguientes:

- Se debe permitir el arranque del motor, pero si el arranque se demora o el motor queda calado debe operar el relé térmico.
- Para corrientes de falla mayores que la capacidad de ruptura del contactor, debe actuar primero la protección magnética (fusible o guardamotor magnético) que el relé térmico, puesto que de lo contrario, el contactor no estaría en condiciones de abrir la corriente indicada por el relé térmico.
- Para corrientes superiores a  $25I_n$ , la recta de  $I^2t$  del relé térmico debe estar siempre por encima de la correspondiente del dispositivo que lo protege contra cortocircuitos (fusible o guardamotor magnético)
- La corriente de arranque con un factor de seguridad 2 en tiempo, durante el tiempo de arranque, no debe alcanzar la curva característica de la protección contra cortocircuito, para así tener en cuenta el estado de precarga y los arranques sucesivos.

A continuación, veremos gráficamente, la coordinación para distinto tipo de salidas:

Solución 3 productos: contactor + relé térmico + seccionador portafusibles

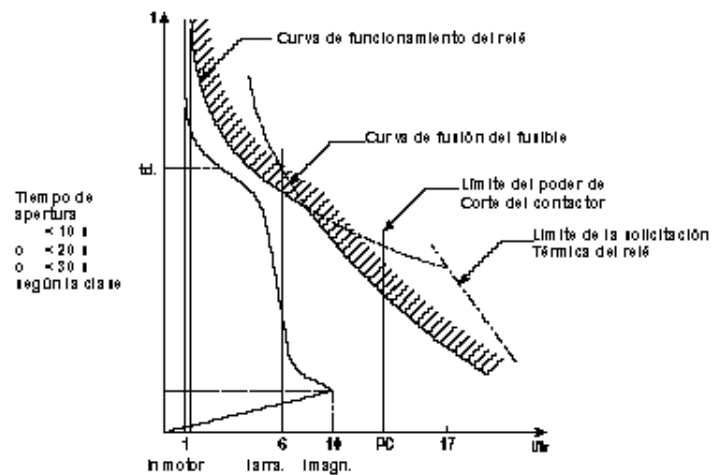


Figura 23: Curvas disparo salida contactor + relé térmico + seccionador portafusibles.

Solución 3 productos: contactor + relé térmico + guardamotor magnético

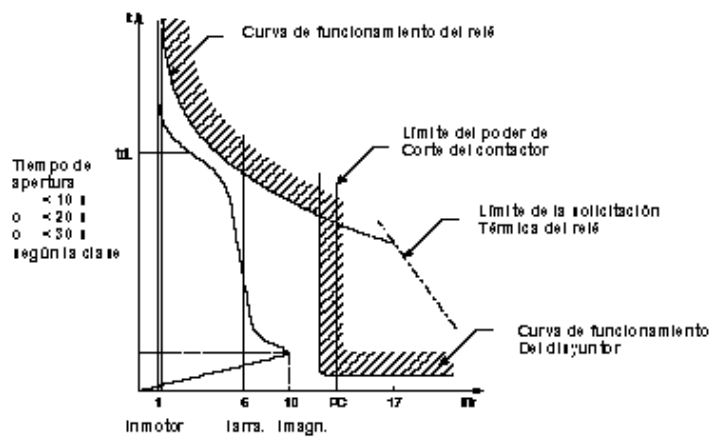


Figura 24: Curvas disparo salida contactor + relé térmico + guardamotor magnético.

Solución 2 productos: contactor + guardamotor magnetotérmico

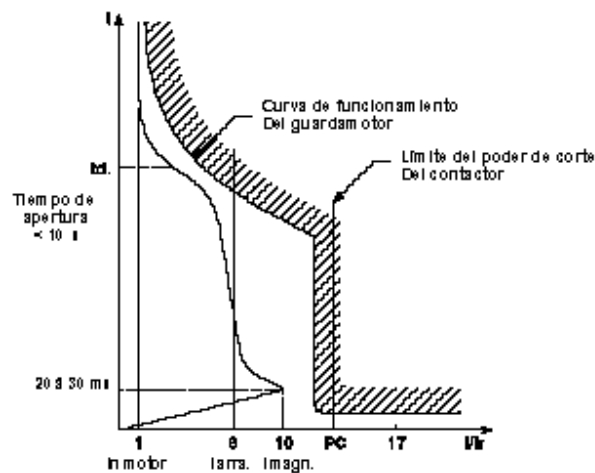


Figura 25: Curvas disparo salida contactor + guardamotor magnetotérmico.



## 7. CONEXIÓN DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS DE UNA SALIDA A MOTOR (Diagramas de comando)

Existen muchas formas de comandar uno o varios motores, dependiendo de los elementos que se utilicen para su arranque y protección así como del funcionamiento previsto del motor (un sentido de marcha, dos sentidos de marcha, comando por botoneras, comando remoto, etc.)

A continuación se presenta un esquema de comando estandar para arranque directo y otro para arranque estrella – triángulo.

Arranque directo:

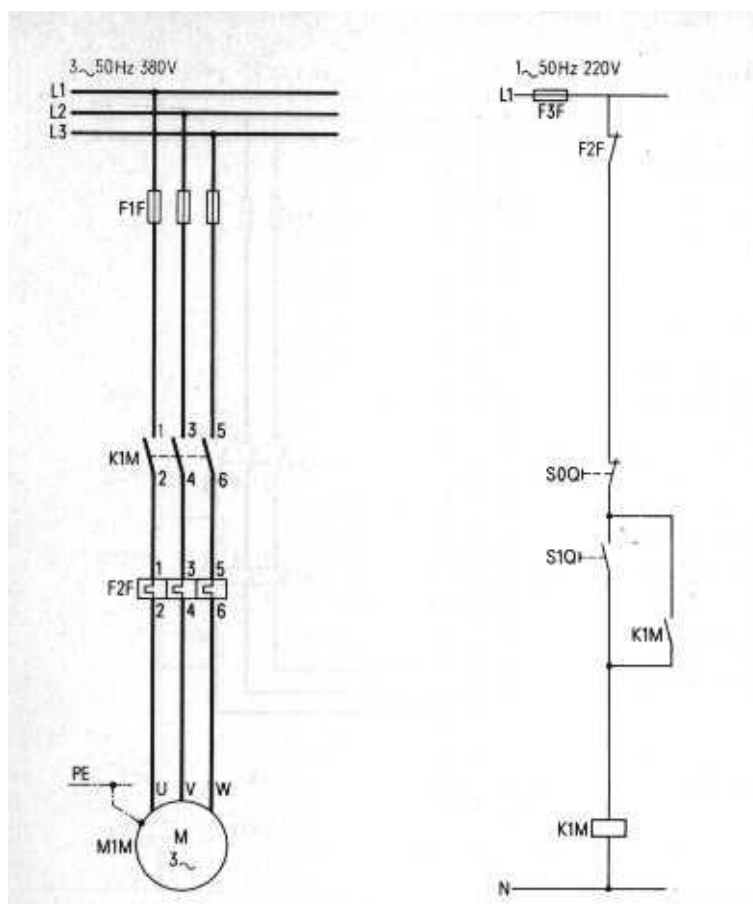


Figura 26: Esquema de conexión arranque directo.

Siendo:

F1F y F3F: Fusibles de protección contra cortocircuito del circuito de potencia y del circuito de comando respectivamente

K1M: contactor de comando

F2F: relé térmico, c / un contacto NC

S1Q: Pulsador NA de arranque

S0Q: Pulsador NC de parada

Explicación del funcionamiento del diagrama de comando:

Inicialmente, el contactor K1M se encuentra abierto.

Marcha: Al presionar el pulsador S1 y no haber falla térmica en el motor, el contacto F2F del relé térmico está cerrado; como el pulsador S0Q es NC y no está presionado el contacto S0Q está cerrado y al cerrarse el contacto S1Q se energiza la bobina del contactor K1M cerrándose entonces sus contactos principales.

Al cerrarse el contactor K1M, se cierran sus contactos auxiliares, entonces, independientemente que se deje de presionar S1Q, la bobina se mantiene alimentada a través del contacto auxiliar de K1M en paralelo con S1Q y el contactor permanece cerrado. A este contacto de K1M en paralelo con el pulsador de marcha se le denomina usualmente contacto de autoretención.

Parada: Al presionar el pulsador S0Q, como es un contacto NC, el contacto S0Q que aparece en el diagrama de comando se abre, dejando sin alimentación a la bobina del contactor K1M. K1M, con su bobina desenergizada, se abre.

Parada por disparo del relé térmico: En caso de detectarse una sobrecarga, el contacto NC de F2F que figura en el diagrama de comando se abre, dejando sin alimentación a la bobina del contactor K1M. K1M, con su bobina desenergizada, se abre.

Observar que en caso de desear comandar el contactor desde más de un punto, alcanzará con poner contactos NA de los comandos de apertura adicionales que se desee en paralelo con el contacto de S1Q y contactos NC de los comandos de cierre adicionales que se desee en serie con el contacto de S0Q.

Arranque estrella - triángulo:

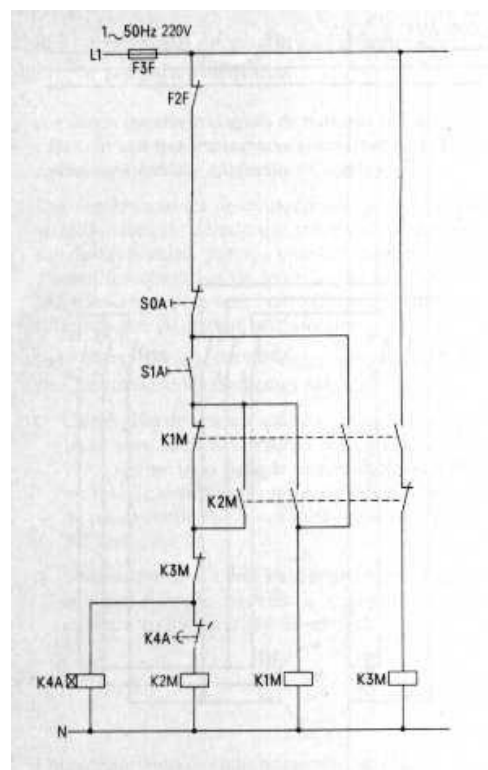
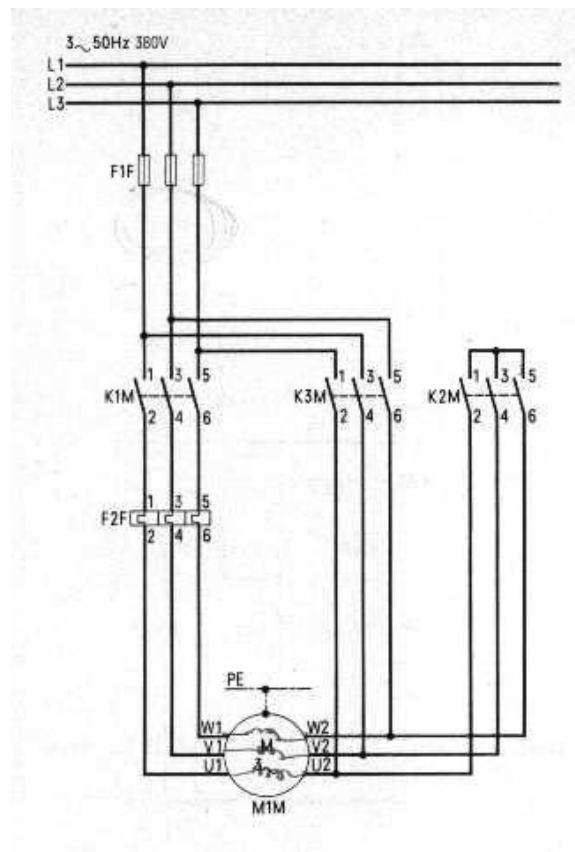


Figura 27: Esquema de conexión arranque estrella-triángulo.

Siendo:

F1F y F3F: Fusibles de protección contra cortocircuito del circuito de potencia y del circuito de comando respectivamente

K1M, K2M: contactores de comando c/ 2NA+1NC c/no

K3M: contactor de comando c/ 1NC

F2F: relé térmico, c / un contacto NC

S1A: Pulsador NA de arranque, 1NA

S0A: Pulsador NC de parada, 1NC

K4A: temporizador c/retardo a la conexión, 1NC

Explicación del funcionamiento del diagrama de comando:

La conexión en estrella de los bobinados del motor se logra cerrando el contactor K2M y la conexión en triángulo cerrando el contactor K3M.

Inicialmente, los tres contactores están abiertos.

Marcha: Al pulsar S1A, como el NC del relé térmico F2F está cerrado puesto que no hay falla por sobrecarga, el NC de S0A está cerrado puesto que no está presionado el pulsador de parada, los contactos NC de K1M y K3M están cerrados puesto que ambos contactores están abiertos y el contacto NC del temporizador K4A está cerrado puesto que el temporizador no está funcionando, se energiza la bobina del contactor K2M, cerrándose el contactor K2M y se activa el temporizador. En este momento se ha conectado los bobinados del motor en estrella.

Al energizarse K2M, se cierran sus contactos auxiliares NA y se energiza entonces la bobina de K1M, cerrándose el contactor K1M y entregando tensión al motor.

Tanto K1M como K2M permanecen cerrados, aún luego de mantener S1A pulsado, a través de los contactos de autoretenición de K2M. Al estar K2M cerrado, su contacto NC está abierto y la bobina de K3M no está alimentada, por lo que K3M está abierto.

Cuando el temporizador llegó a su valor de seteo el contacto NC de K4A se abre, desenergizando la bobina de K2M, lo que provoca la apertura de K2M.

K1M permanece cerrado, entonces su contacto NA está cerrado y como K2M abrió, su contacto NC se cerró, por lo que se energiza la bobina de K3M, provocando el cierre de K3M y la conexión de los bobinados del motor en triángulo, lo que implica el fin del arranque.

Parada: Al presionar el pulsador S0A, como es un contacto NC, el contacto S0A que aparece en el diagrama de comando se abre, dejando sin alimentación a las bobinas que estuvieran activadas (sean K1M, K2M y K4A o solamente K1M). K1M y K2M, con su bobina desenergizada, se abren. Al abrir K1M, su contacto NA se abre por lo que se desenergiza la bobina de K3M.

Parada por disparo del relé térmico: En caso de detectarse una sobrecarga, el contacto NC de F2F que figura en el diagrama de comando se abre, dejando sin alimentación a las bobinas que estuvieran activadas (sean K1M, K2M y K4A o solamente K1M). K1M y K2M, con su bobina desenergizada, se abren. Al abrir K1M, su contacto NA se abre por lo que se desenergiza la bobina de K3M.