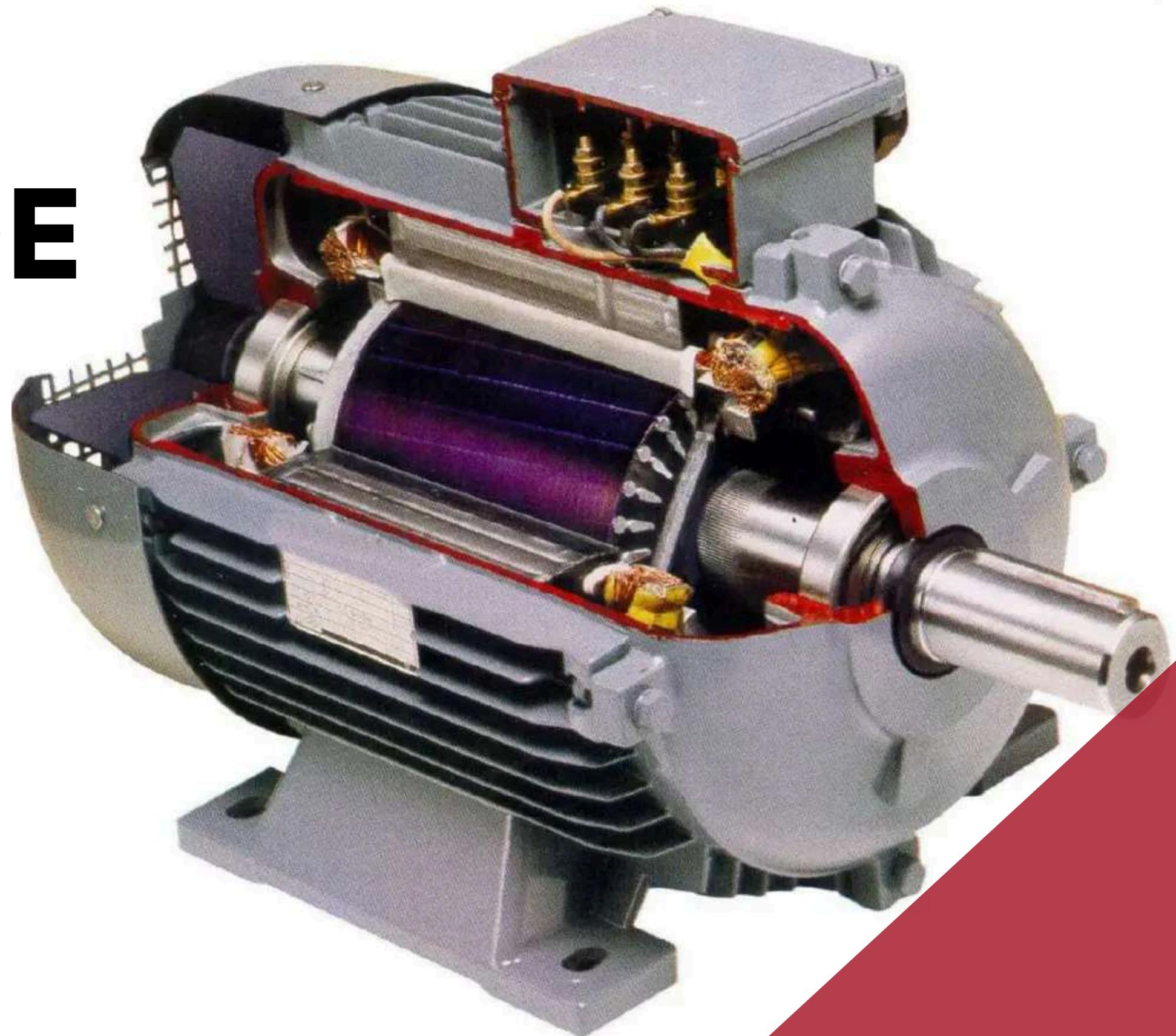


# **PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS**



# TEMARIO

## 1. Características de un motor eléctrico

- 1.1 Tipos de motores
- 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono
- 1.3 Clasificación de los motores
- 1.4 Voltaje y frecuencia nominal
- 1.5 Corriente
- 1.6 Factor de servicio
- 1.7 Torque
- 1.8 Curva velocidad – torque
- 1.9 Arranque

## 2. Aplicaciones del motor eléctrico

## 3. Riesgos comunes en los motores eléctricos

## 4. Protección del motor eléctrico

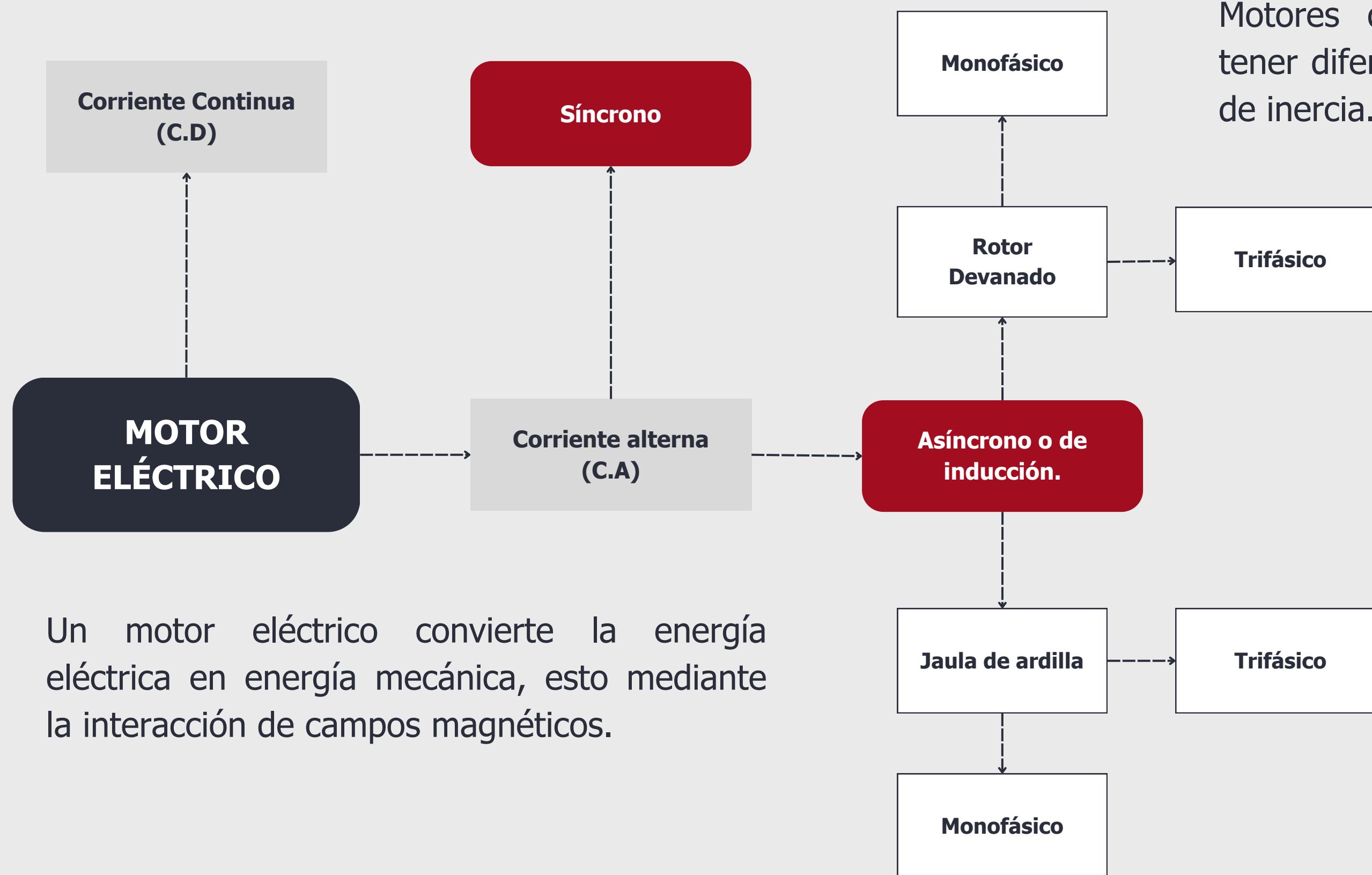
- 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)
- 4.2 Fallas de fase (50/51P)
- 4.3 Protección diferencial (87)
- 4.4 Fallas a tierra (50/51G, 50/51N)
- 4.5 Atascamiento de la carga (Mechanical Jam)
- 4.6 Inversión de fases y desbalance (47,46)
- 4.7 Bajo voltaje (27)
- 4.8 Perdida de carga (37)

## 5. Protección del motor síncrono

## 6. Arranques repetitivos y sobrecargas cíclicas

## 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

# 1.1 Tipos de motores



## 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono

- Un motor trifásico de inducción consiste de una parte móvil y una estacionaria, el rotor y el estator.
- El estator es una estructura construida de un material capaz de conducir el campo magnético, esta estructura tiene devanados para cada una de las fases del motor, estas se encuentran a  $120^\circ$  eléctricos alrededor del núcleo.
- La velocidad a la que gira el campo magnético resultante debido a la configuración de los devanados se le conoce como velocidad síncrona, esta velocidad se encuentra en la placa de datos del motor pero se puede calcular de la siguiente manera:

$$RPM_{sync} = \frac{120 (f)}{p}$$

## 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono

- En un motor de inducción el rotor esta construido de barras conductoras colocadas longitudinalmente a lo largo de la circunferencia del rotor.
- El rotor se encuentra ligeramente separado del estator dentro de la propia estructura del estator y el rotor es soportado mediante rodamientos o cojinetes.
- Con el rotor en estado de reposo, el flujo magnético del estator pasa sobre los devanados del rotor a velocidad síncrona, esto induce un voltaje en el rotor. La magnitud de este voltaje inducido viene dado por la relación:

$$\left( \frac{Ns}{Nr} \right)$$

- La frecuencia de la corriente inducida en el rotor es igual a la frecuencia de la corriente del estator.

# 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono

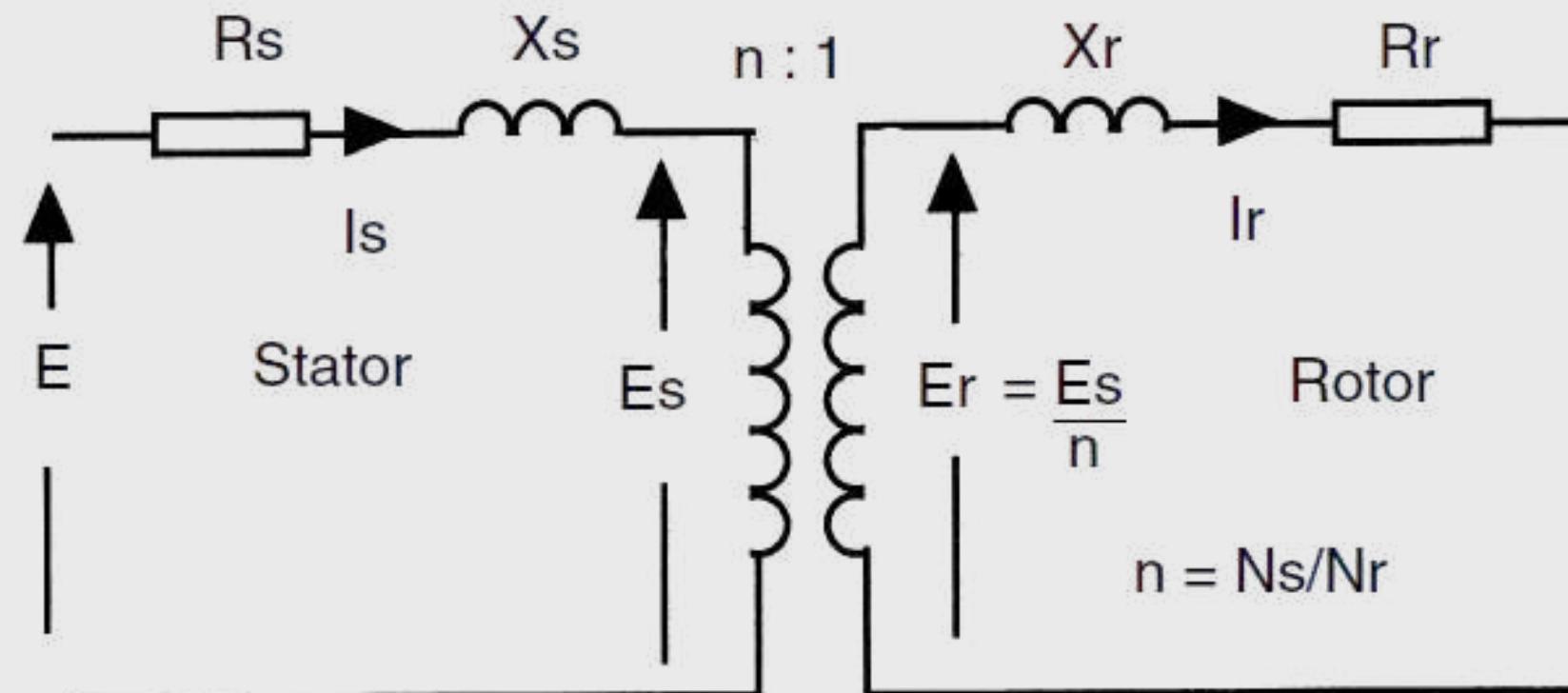
La impedancia del rotor vista desde el estator es:

$$Z_{LR} = R_s + jX_s + n^2 (R_r + jX_r)$$

La relación de transformación en el modelo del motor en estado de reposo es físicamente correcto. Sin embargo, este modelo tiene poco valor práctico ya que el rotor es inaccesible por lo que los parámetros de los motores son determinados mediante pruebas eléctricas.

$$\frac{E_{prim}}{E_{sec}} = \frac{N_{prim}}{N_{sec}}$$

$$I_{LR} = \frac{E}{Z_{LR}}$$



## 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono

Cuando el motor esta en movimiento, el voltaje inducido en el rotor no es directamente proporcional al número de vueltas.

Sin embargo, cuando el rotor esta en movimiento, la tasa de cambio del flujo en los devanados del rotor es igual a :

$$s = \frac{RPM_{sync} - RPM_{motor}}{RPM_{sync}}$$

La magnitud del voltaje inducido en el rotor y la frecuencia del voltaje inducido se vuelven función del deslizamiento:

$$E_r = s (E_{stator}) \quad f_{rot} = s (f_{stator})$$

La variación de la frecuencia del rotor causa variación en la impedancia del circuito del rotor:

$$Z_r = R_r + j (2\pi f_r L_r)$$

# 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono

Cuando el deslizamiento es igual a 1 (rotor bloqueado) y el rotor tiene una reactancia a 60Hz, tenemos que la impedancia dependiente del deslizamiento es:

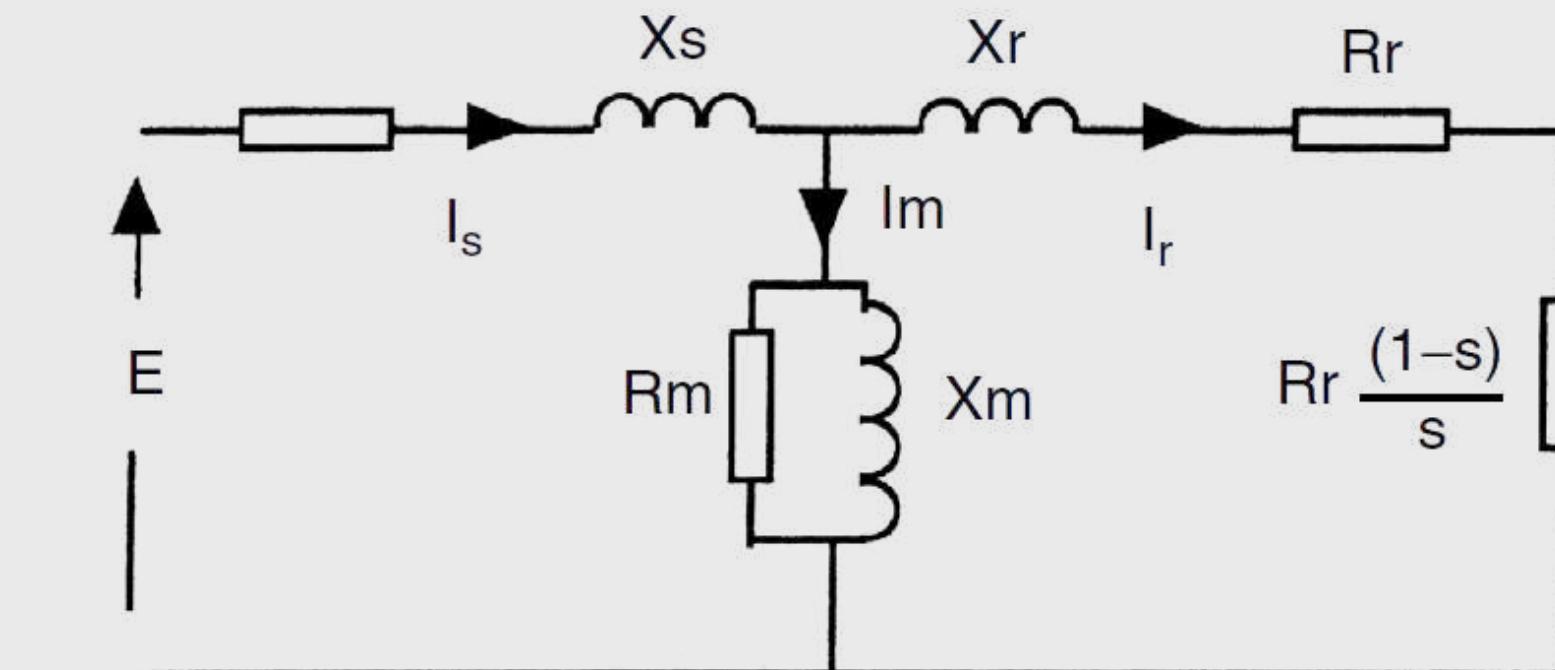
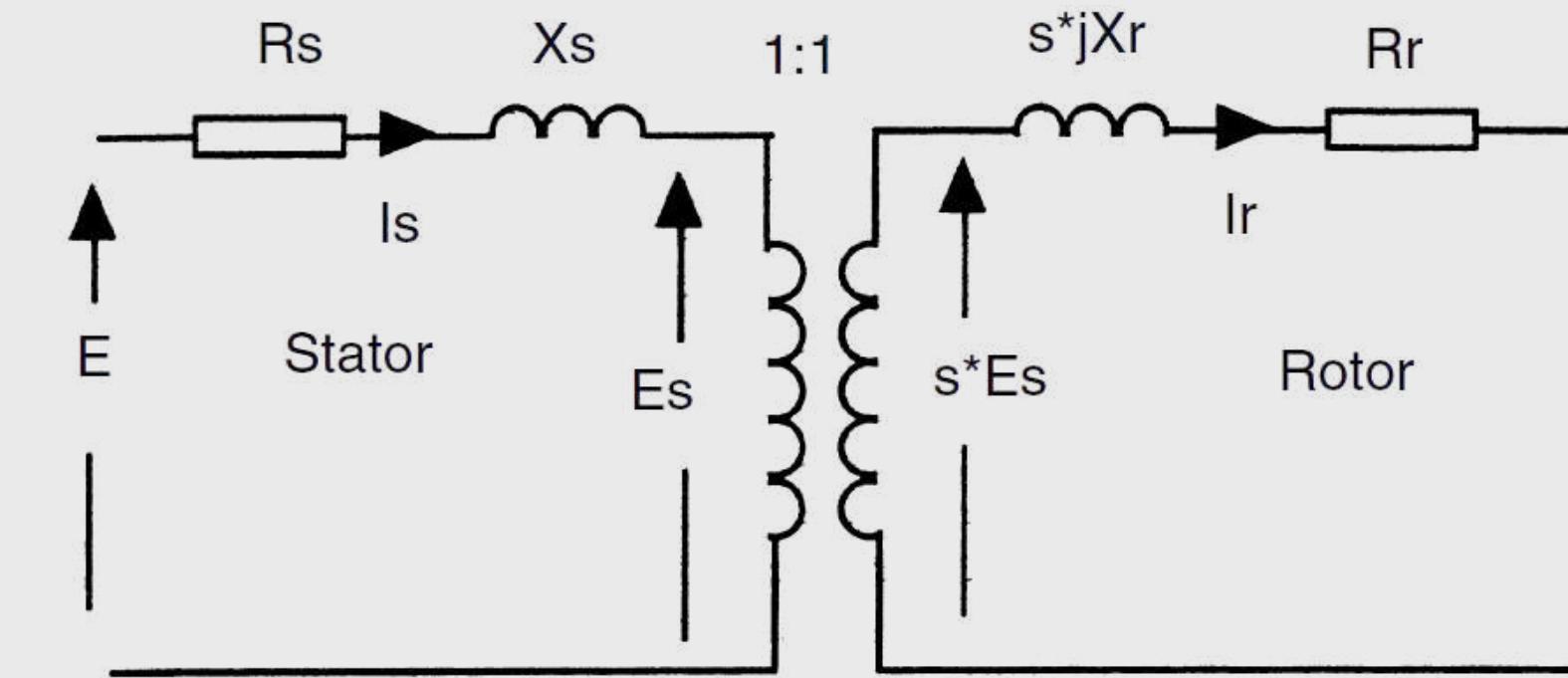
$$Z_r = R_r + j s X_r$$

Por lo que la corriente del rotor es:

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{s E_s}{R_r + j s X_r} = \frac{E_s}{\left(\frac{R_r}{s}\right) + j X_r}$$

La corriente equivalente del estator y del rotor puede ser expresada como:

$$I_s = \frac{E}{\left(\frac{R_r}{s}\right) + R_s + j (X_s + X_r)}$$



## 1.2 Circuito equivalente de un motor asíncrono

La rama de magnetización es una rama de alta reactancia, típicamente la corriente de magnetización  $I_m$  es alrededor del 40% de la corriente del motor a plena carga.

Del circuito equivalente de la diapositiva anterior, la potencia total de entrada al rotor considerando las perdidas es:

$$P_r = I_r^2 \left( \frac{R_r}{s} \right)$$

Resolviendo para la potencia mecánica:

$$P_r = I_r^2 \left( \frac{R_r}{s} \right) = I_r^2 (R_r) + P_M$$

$$P_M = I_r^2 (R_r) \left( \frac{1 - s}{s} \right)$$

# 1.3 Clasificación de los motores

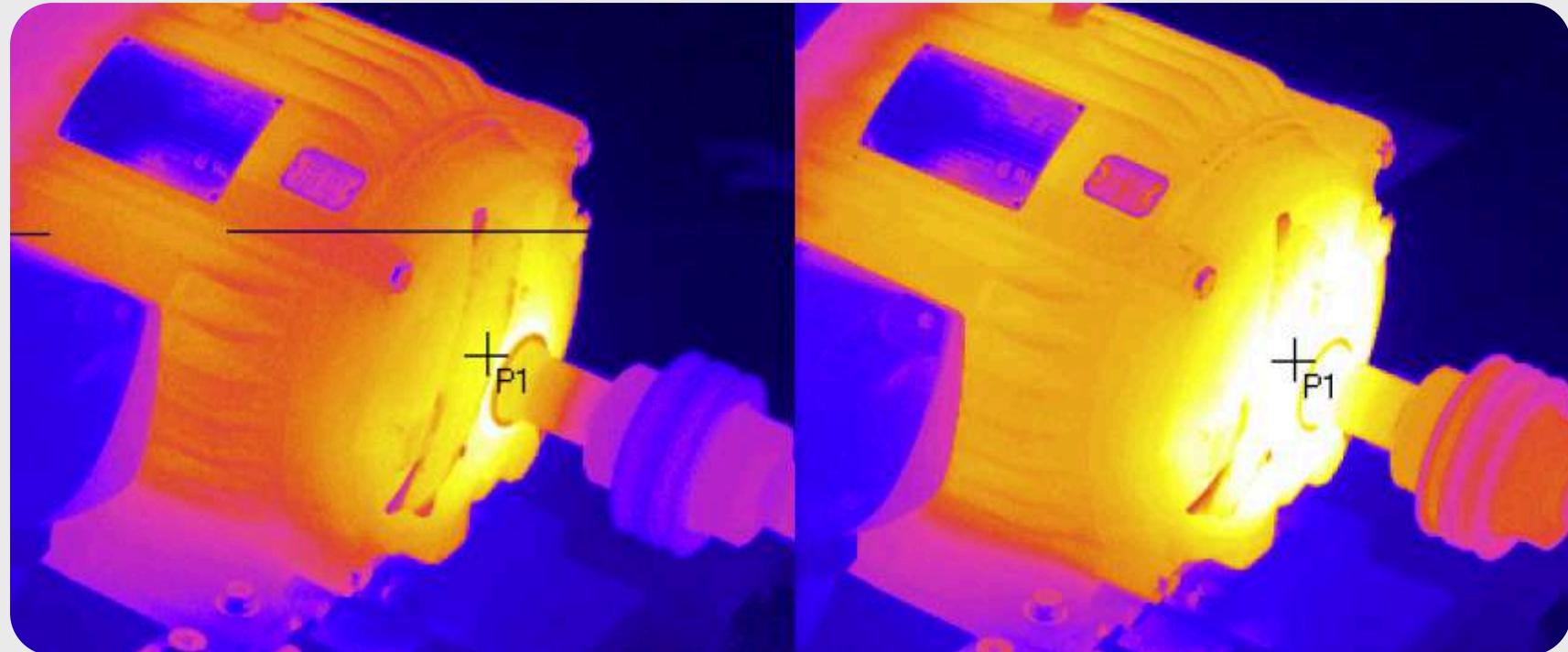
En el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica existen perdidas dentro del motor.

Dentro de estas perdidas tenemos:

- Perdidas por fricción entre rodamientos y el propio aire.
- Perdidas en el núcleo magnético
- Perdida de carga por corrientes inducidas
- Perdidas por  $I^2R$  en el rotor y en el estator

Todas estas perdidas producen calor dentro del motor, el calor deteriora el aislamiento y puede llegar a causar deformaciones, estrés mecánico y fatiga a otros componentes.

Es por esto que la vida útil de cada motor **es inversamente proporcional** a su temperatura de operación.



# 1.3 Clasificación de los motores

El sistema de clasificación de la NEMA asigna valores nominales de HP continuos a los motores en función del aumento de temperatura bajo carga con una temperatura ambiente de 40°C.

La NEMA utiliza métodos de medición de temperatura específicos, como la resistencia o detectores incrustados.

La siguiente tabla es valida cuando:

- Variación de voltaje  $\pm 10\%$
- Variación de la frecuencia con voltaje estable  $\pm 5\%$

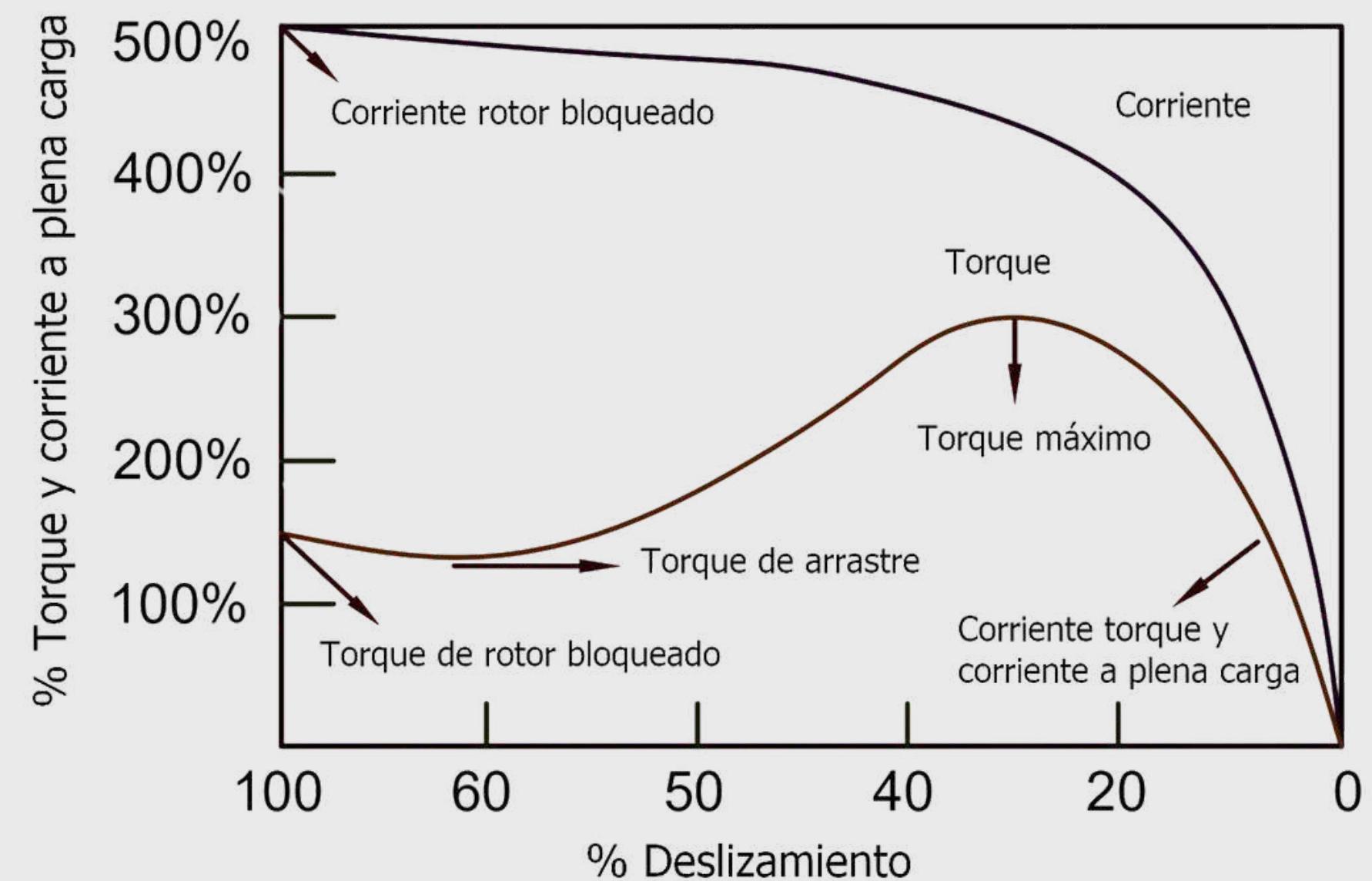
MAXIMA ELEVACION DE TEMPERATURA PERMITIDA PARA MOTORES (°C)					
Clasificación del Motor	Medición de Temperatura	Clase de aislamiento			
		A	B	F	H
Máxima Temperatura permitida de Aislamiento		105	130	155	180
Máxima elevación Permisible (desde 40°C ambiente)		65	90	115	140
Hasta 1500 HP	RTD	70	90	115	140
Arriba de 1500 HP					
Y menos de 7 kV	RTD	65	85	110	135
Y más de 7 kV	RTD	60	80	105	125
Todas las clasificaciones	Resistencia	60	80	105	125
Factor de Servicio = 1.0(MG-1 20.8.1)					
Detector de resistencia de temperatura.					

## 1.4 Voltaje y frecuencia nominal

- El aumento de temperatura de un motor no depende únicamente de la carga mecánica conectada.
- La operación del motor debajo del voltaje nominal requerirá una corriente mayor para alcanzar su potencia nominal.
- El aumento de la corriente genera mayores perdidas por  $I^2R$  e incrementa el calor dentro del motor.
- La operación arriba del voltaje nominal reduce la corriente del motor y las perdidas por  $I^2R$  pero incrementa las perdidas del núcleo.
- Operación debajo de la frecuencia nominal reduce las perdidas en el núcleo pero reduce el flujo de aire para el enfriamiento del motor. La operación arriba de la frecuencia nominal aumenta las perdidas en el núcleo.

# 1.5 Corriente

- La máxima corriente del motor se presenta cuando el rotor esta en reposo.
- Durante el arranque, la corriente se mantiene cerca de su valor de rotor bloqueado hasta que la velocidad del motor llega al 80-90% de su valor nominal.
- Arriba del 80% de la velocidad nominal del motor, el deslizamiento se reduce rápidamente comportándose de forma no lineal.
- La corriente de rotor bloqueado de la mayoría de los motores es de 6 veces su corriente nominal. Sin embargo, esto varia dependiendo del diseño del motor.



# 1.5 Corriente

La corriente de rotor bloqueado especifica para cada motor viene dada en su placa de datos.

Los códigos de rotor bloqueado NEMA están basados en una tensión nominal en las terminales del motor, no consideran las impedancias del circuito e indican los kVA necesarios por cada HP para arrancar un motor.

Código NEMA	Máximos kVA/HP de rotor bloqueado	Código NEMA	Máximos kVA/HP de rotor bloqueado
A	3.15	L	10.0
B	3.55	M	11.2
C	4.0	N	12.5
D	4.5	P	14.0
E	5.0	R	16.0
F	5.6	S	18.0
G	6.3	T	20.0
H	7.1	U	22.4
J	8.0	V	Above 22.4
K	9.0		

Ejemplo: Un motor de **500 HP** de **460V** con código de rotor bloqueado **F** la corriente máxima de rotor bloqueado es:

$$I_{LR} = \frac{5.6 \left( \frac{kVA}{HP} \right) \times 500HP}{\sqrt{3} (0.46)} = 3514A$$

Si este motor fuese arrancado con 480V en terminales la corriente máxima de rotor bloqueado sería:

$$3514A \left( \frac{480V}{460V} \right) = 3667A$$

# 1.6 Factor de servicio

- El factor de servicio es el porcentaje de sobrecarga que un motor puede soportar por periodos cortos de tiempo con parámetros nominales de tensión y frecuencia.
- Motores con factor de servicio de 1.15 pueden operar continuamente al 115% de los H.P nominales de la placa de datos si el voltaje y la frecuencia se mantienen a sus valores nominales.
- Motores NEMA con factor de servicio 1.15 se les permiten incrementos de temperatura de 10°C más respecto a motores NEMA con S.F de 1.0.
- Si los motores NEMA con factor de servicio 1.15 son usados continuamente a 1.15 de su carga nominal, su vida útil se vera acortada a la mitad.

# 1.7 Torque

El torque del motor ( $T$ ) se deriva de las siguientes ecuaciones:

$$P = w(T) \quad P_r = I_r^2 \left( \frac{R_r}{s} \right)$$

$$T = I_r^2 \left( \frac{R_r}{sw_{sync}} \right)$$

- El torque es producido por la interacción del flujo del estator y del rotor.

La velocidad mecánica del rotor es:

$$w_r = (1 - s)w_{sync}$$

La velocidad del flujo del rotor producido por la corriente inducida en el rotor es:

$$s(w_{sync})$$

El flujo del estator y del rotor se encuentran a la misma velocidad:

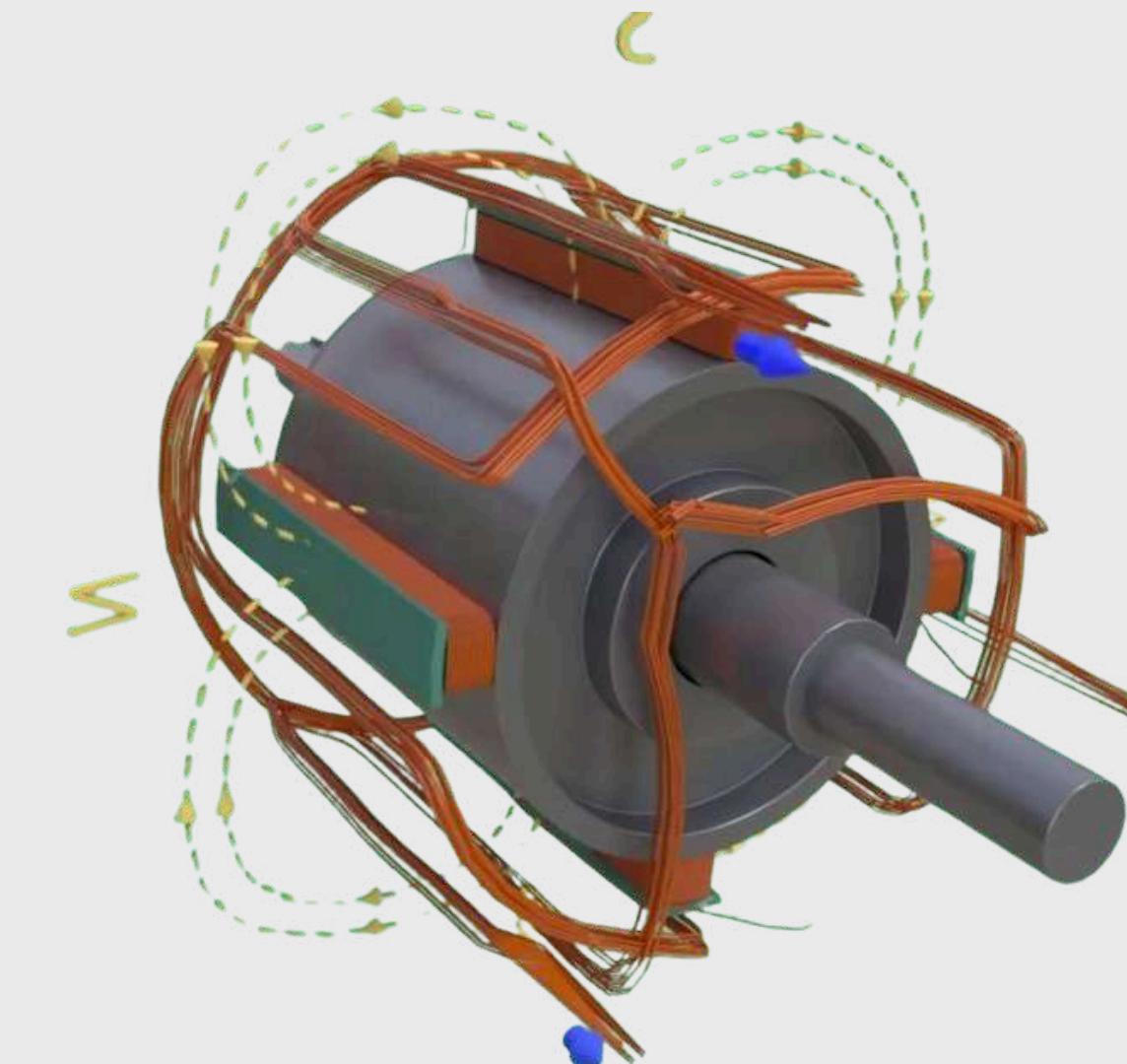
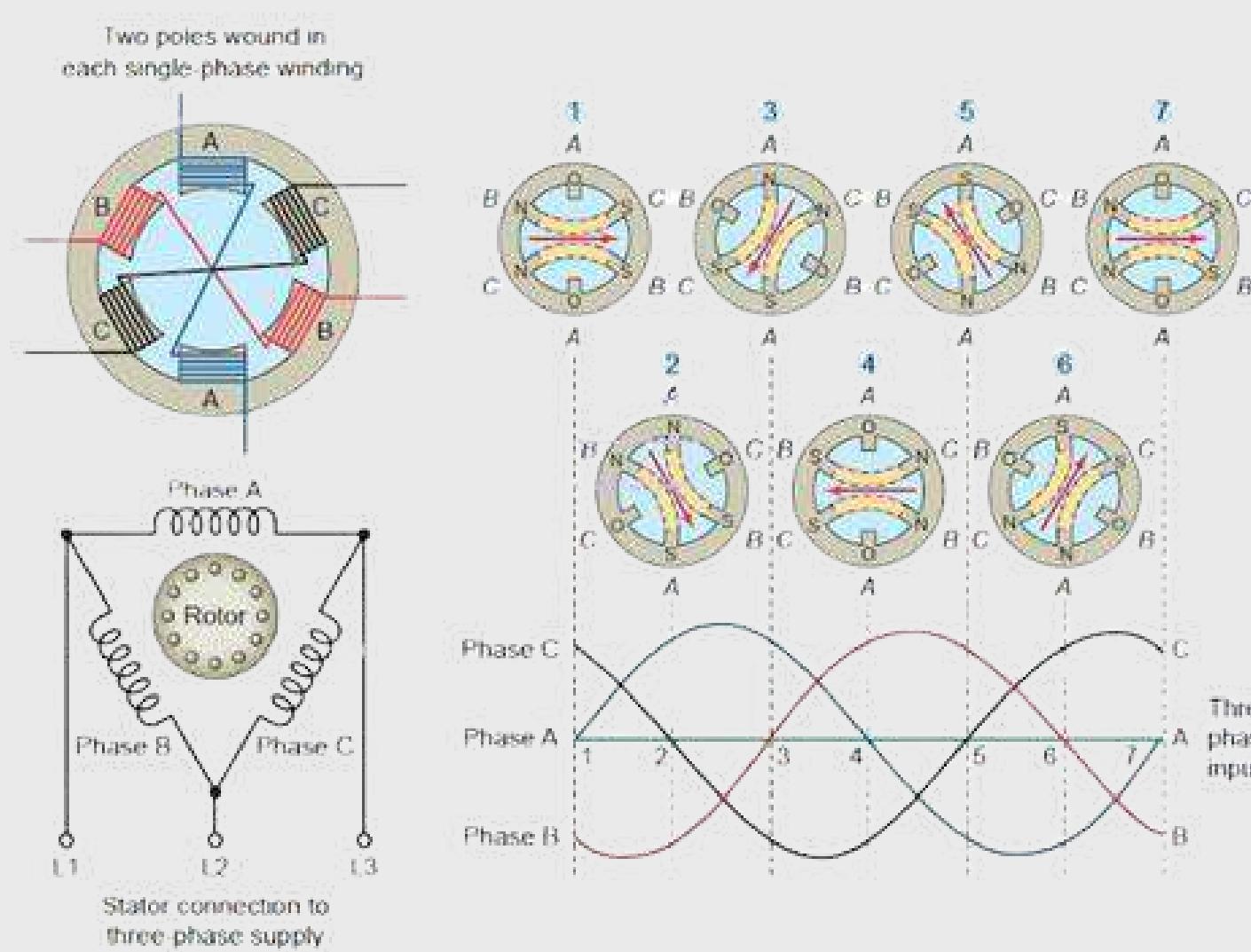
$$w_{sync} = (1 - s)w_{sync} + sw_{sync}$$

- Torque útil no podría ser producido si las velocidades de los flujos fueran diferentes.

# 1.7 Torque

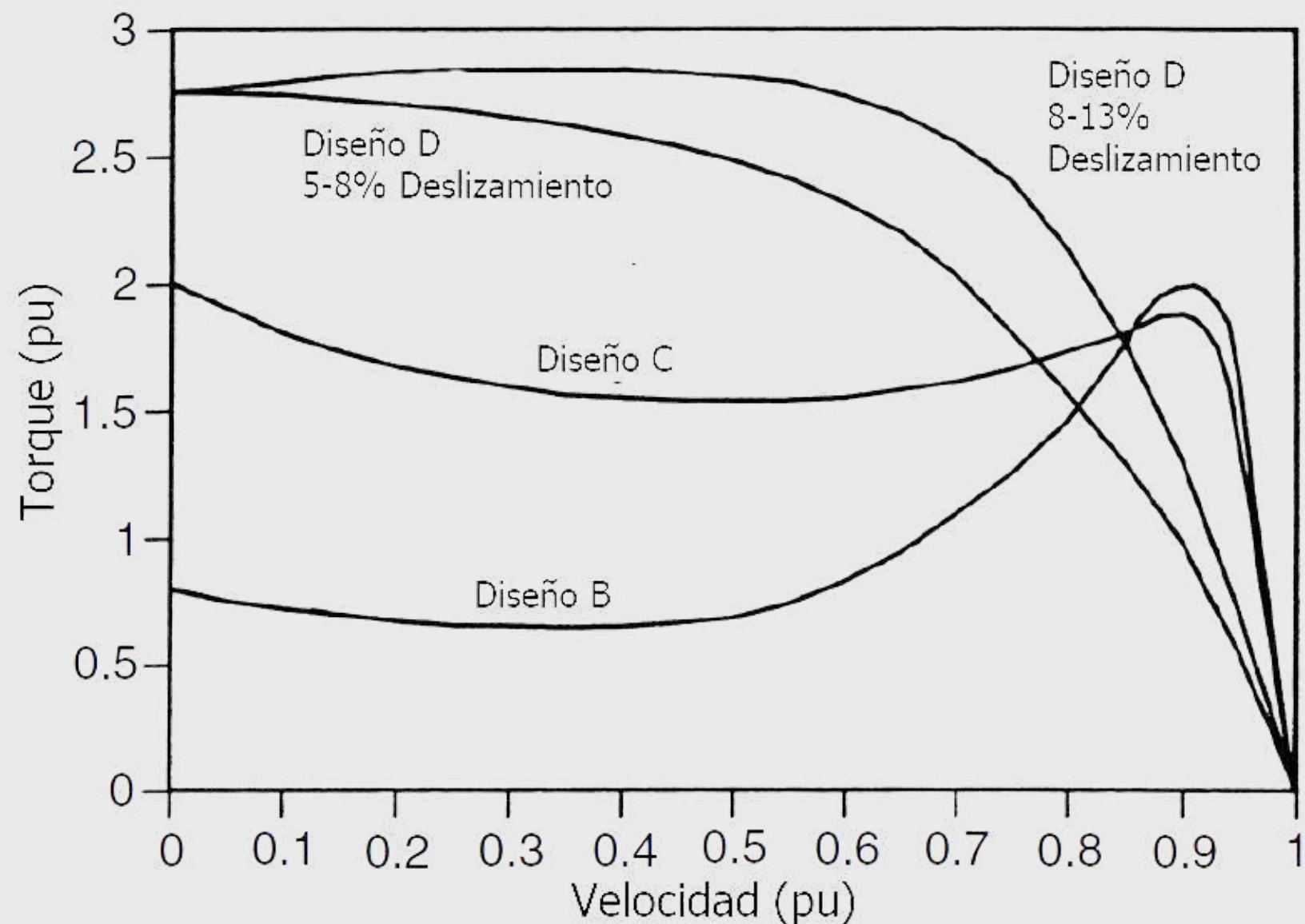
Una manera alterna de definir el torque de salida es:

$$P_M = w_r (T) \quad P_M = I_r^2 (R_r) \left( \frac{1 - s}{s} \right)$$
$$T = I_r^2 (R_r) \left( \frac{1 - s}{sw_r} \right)$$



# 1.8 Curva velocidad - torque

La característica velocidad - torque de cada motor varía dependiendo de su diseño, por lo que la característica de torque de dos motores de potencia nominal igual pueden ser diferentes.

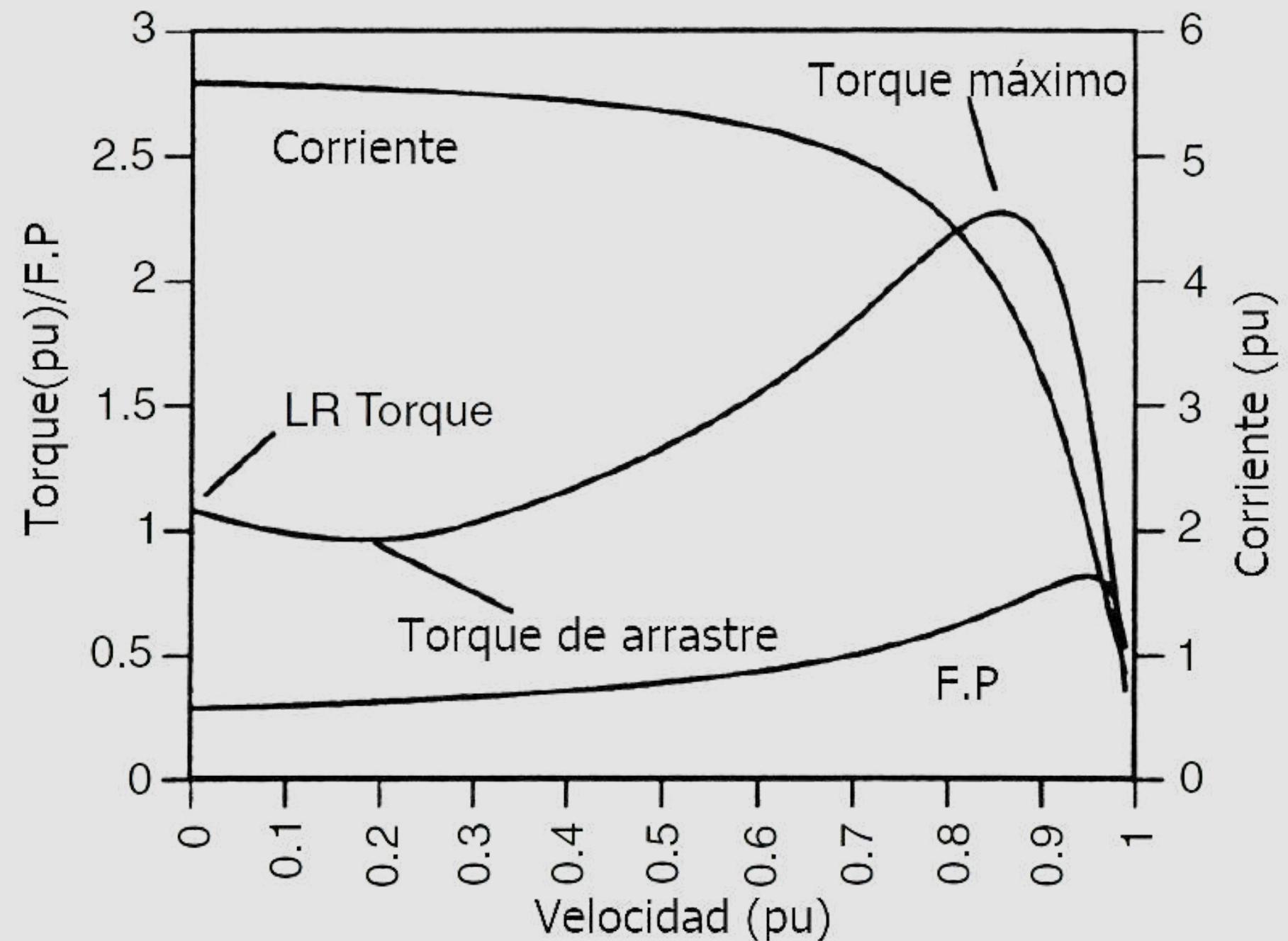


Código NEMA	Máximos kVA/HP de rotor bloqueado	Código NEMA	Máximos kVA/HP de rotor bloqueado
A	3.15	L	10.0
B	3.55	M	11.2
C	4.0	N	12.5
D	4.5	P	14.0
E	5.0	R	16.0
F	5.6	S	18.0
G	6.3	T	20.0
H	7.1	U	22.4
J	8.0	V	Above 22.4
K	9.0		

# 1.8 Curva velocidad - torque

Hay varios puntos importantes en la curva de velocidad - torque:

- Torque de rotor bloqueado
  - Torque desarrollado cuando el rotor se encuentra en reposo.
- Torque de arrastre
  - Torque mínimo desarrollado durante el periodo de aceleración.
- Torque máximo
  - Máximo torque que el motor desarrolla.
- Torque a plena carga
  - Torque de salida en estado de operación estable.



# 1.8 Curva velocidad - torque

Motores chicos y medianos construidos bajo especificaciones NEMA son diseñados como NEMA B, C o D motores basados en sus características de torque.

Especificaciones de torque para códigos de diseño NEMA				
Diseño NEMA	Torque de rotor bloqueado	Pull-Up Torque	Breakdown Torque	Corriente de rotor bloqueado
B	70-120%	65-100%	175-200%	600-700%
	Para ventiladores, sopladores, bombas centrífugas y compresores; aplicaciones con par de arranque bajo			
C	200%	140%	190%	600-700%
	Transportadores, trituradoras, bombas alternativas y compresores; aplicaciones que se inician bajo carga			
D	275%			600-700%
	Cargas máximas elevadas con o sin volantes, punzonadoras, cizallas, elevadores, polipastos extractores			

# 1.8 Curva velocidad - torque

Motores NEMA de gran potencia no tienen designados letras pero se nombran como “estándar” y “alto torque”

Designaciones NEMA de torque para motores grandes			
	Torque de rotor bloqueado	Pull-Up Torque	Breakdown Torque
Torque estándar	60%	60%	175%
Alto torque	200%	150%	190%

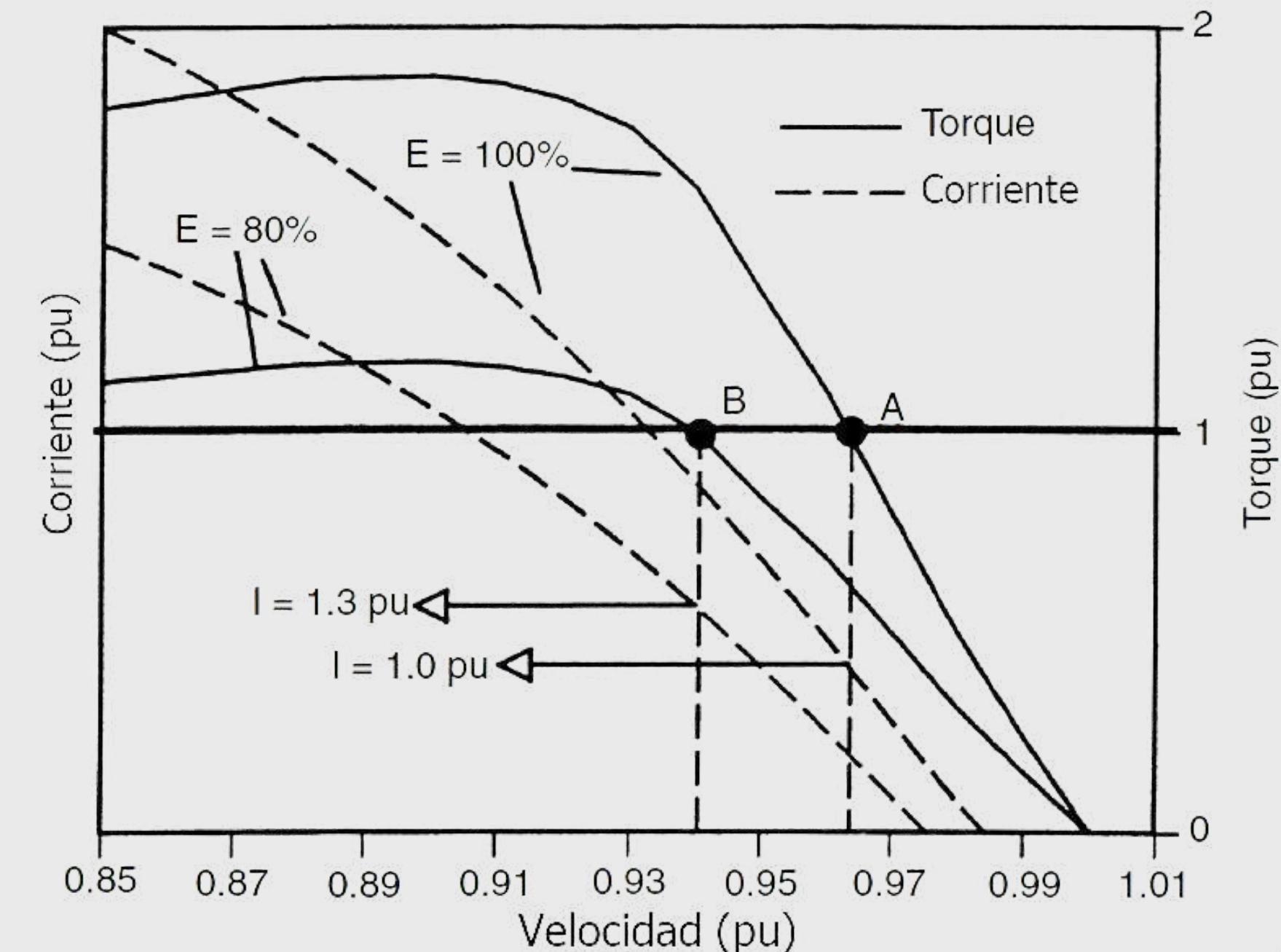
# 1.9 Arranque

- El ciclo de arranque que impone la carga al motor es una consideración importante cuando se quiere elegir y proteger un motor.
- El tiempo de arranque puede variar, yendo desde menos de 1 segundo hasta casi un minuto, esto depende de la inercia combinada del propio motor y la carga a mover, así como la impedancia de la fuente de suministro del motor.
- La corriente de arranque típica de un motor es de 6 veces la corriente nominal.
- A medida que el motor acelera y la velocidad del motor incrementa la corriente empieza a disminuir, sin embargo, durante el periodo de aceleración la corriente se mantiene cerca de su valor de rotor bloqueado.
- La gran cantidad de temperatura que se genera al arranque no se puede disipar de forma rápida, entre más dure el arranque mayor es la elevación de temperatura.
- Un motor esta limitado por la carga que puede acelerar.

# 1.9 Arranque

## Degradación del voltaje del sistema durante el arranque

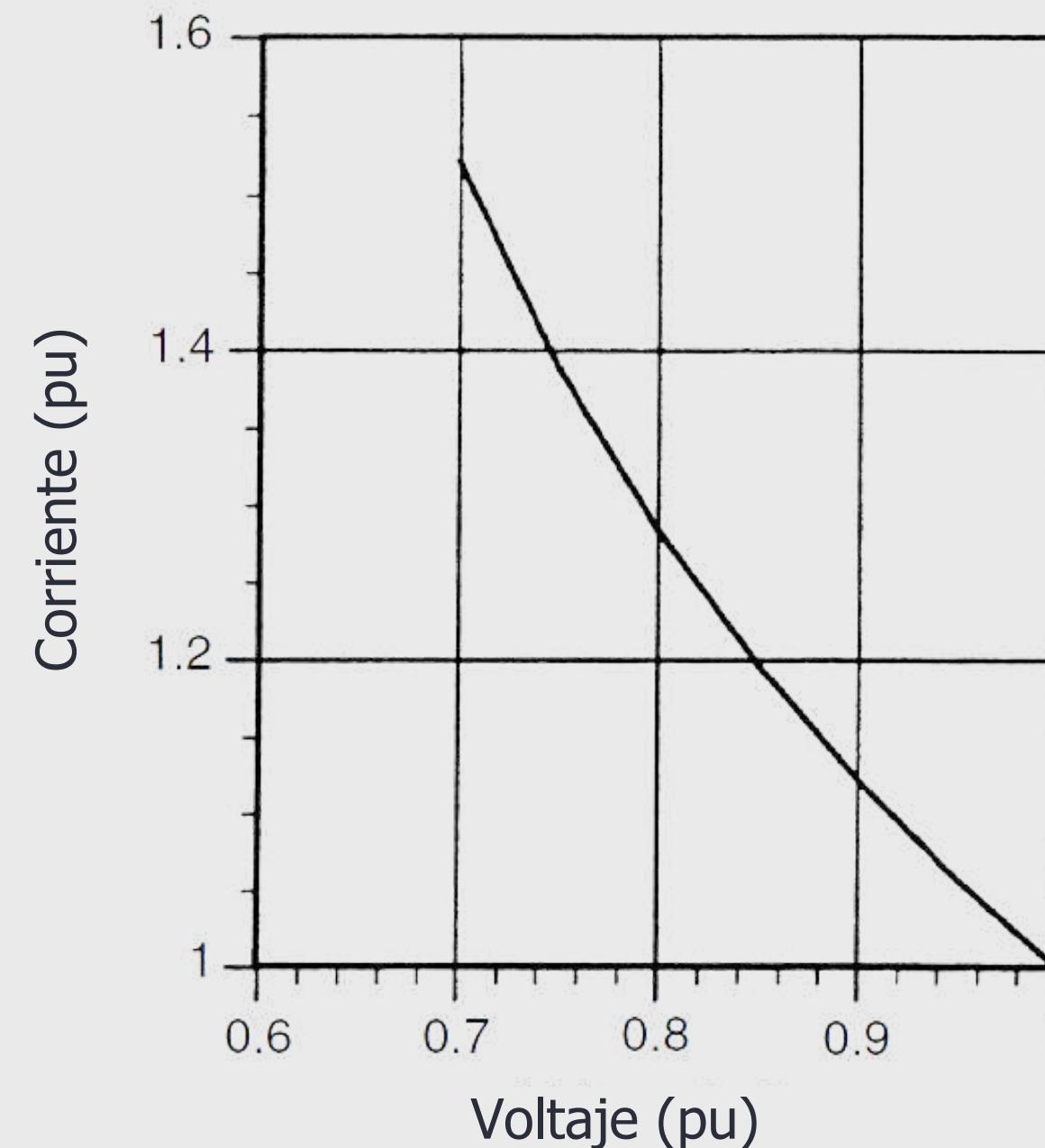
- Un motor pequeño - mediano conectado a un sistema eléctrico fuerte creara una caída de tensión despreciable a la hora de arrancar.
- Un motor grande o un sistema eléctrico débil pueden ocasionar una severa caída de tensión en las terminales de la maquina.
- Se considera una buena practica de diseño, el mantener al menos el 80% del voltaje nominal en las terminales del motor.



# 1.9 Arranque

## Degradación del voltaje del sistema durante el arranque

- Cuando un motor se encuentra girando y la tensión se reduce, la corriente debe de aumentar para satisfacer las necesidades de la carga.



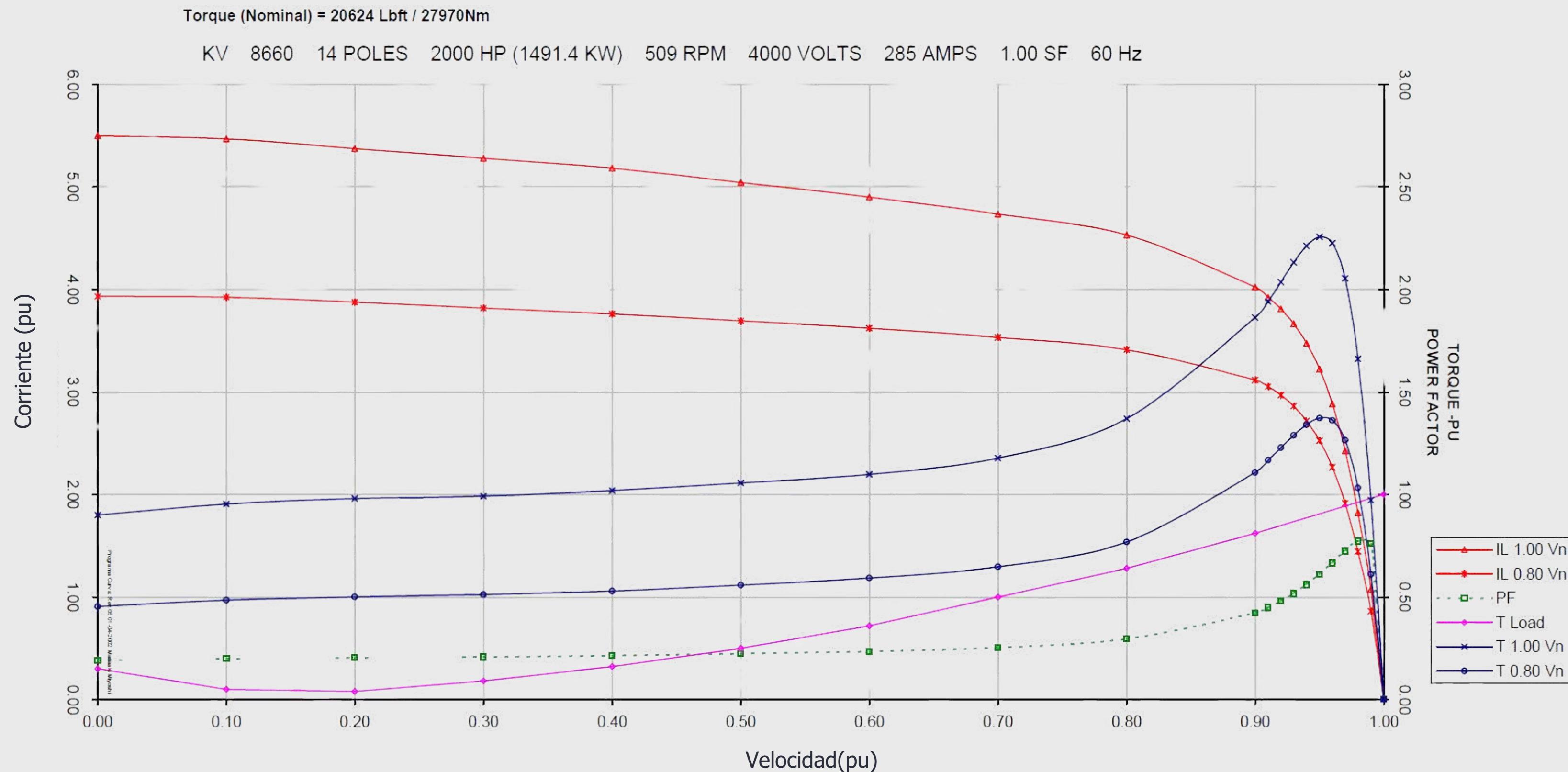
# 1.9 Arranque

## Degradación del voltaje del sistema durante el arranque

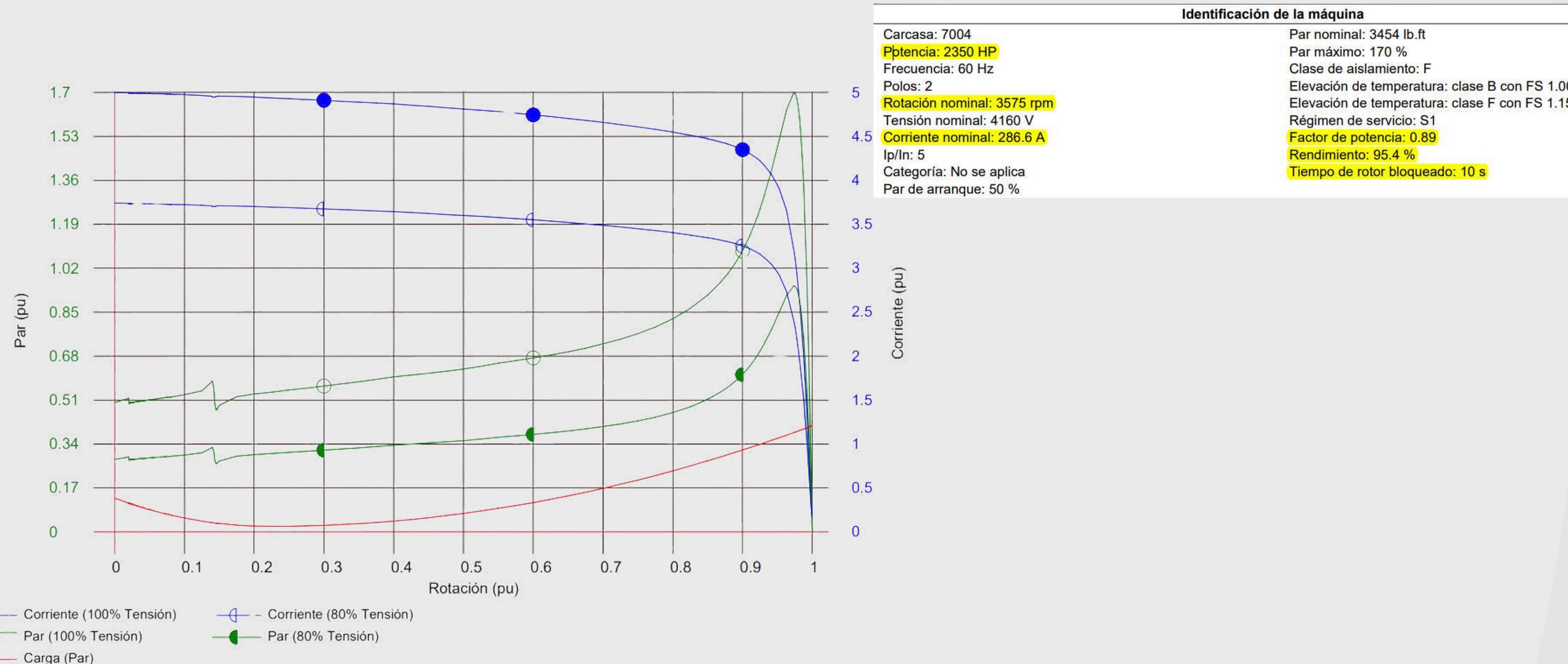
- La relación inversa entre el voltaje y la corriente en un motor girando tiene bastantes impactos negativos en los sistemas con un gran porcentaje de motores tales como los sistemas auxiliares.
- Cuando un motor muy grande arranca conectado a un bus que alimenta a un grupo de motores en movimiento, la caída de voltaje es amplificada por el incremento de la corriente y la disminución del factor de potencia de los motores.
- Los valores de referencia para las protecciones de sobrecorriente del bus y del transformador que alimenta al bus deben permitir el arranque y el incremento de corriente mientras los motores se encuentran girando.
- Si el arranque de un motor grande y el incremento de la carga de los motores tumban el voltaje en el bus, puede que los motores conectados se paren, las corrientes de rotor bloqueado ocasionan que no se recupere el voltaje en el bus. Por lo que las protecciones de bajo voltaje y sobrecarga deben de disparar.

# Ejemplo.- Característica de arranque de un motor de inducción

Motor de 2000HP de una CCC:

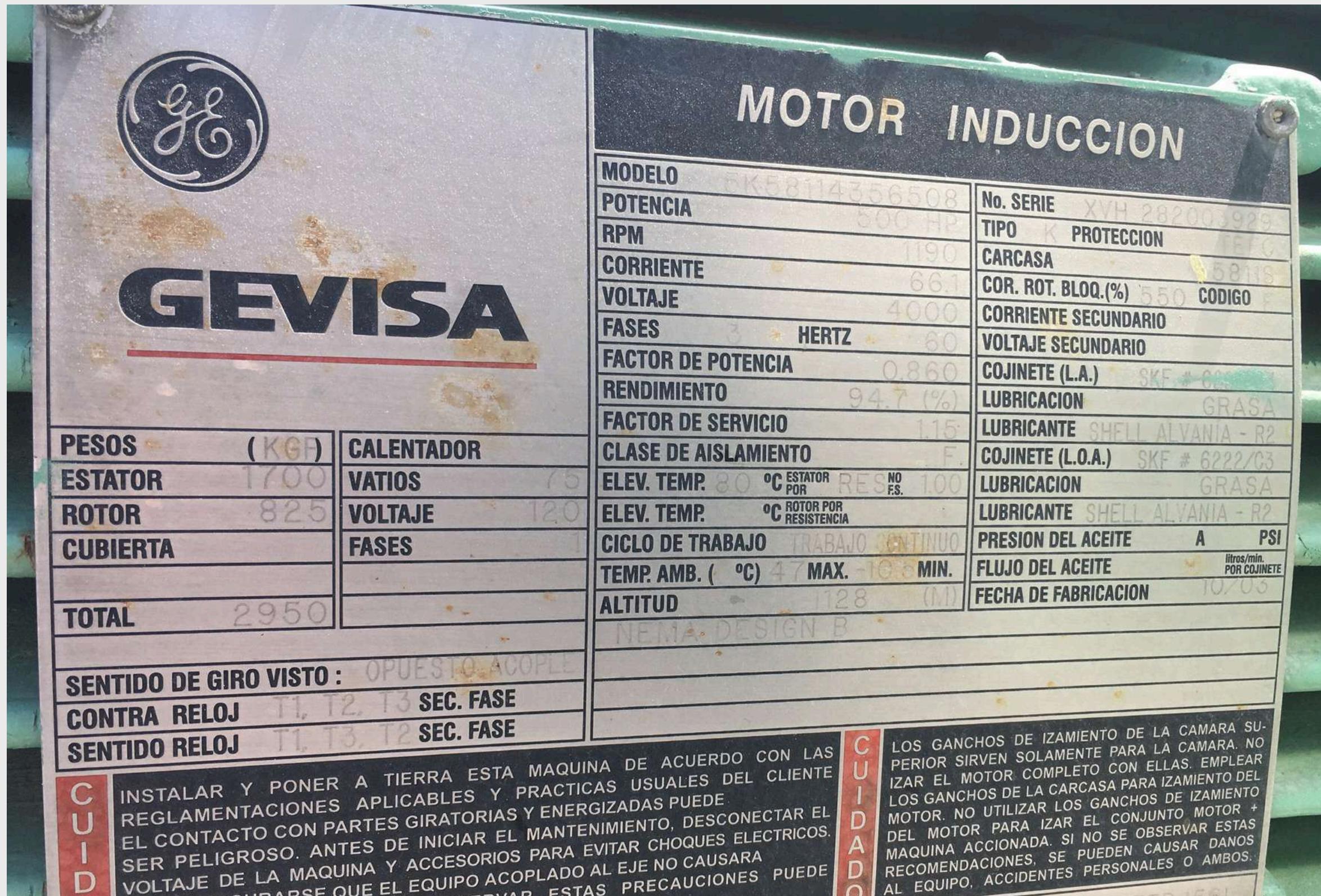


# Ejemplo.- Característica de arranque de un motor de inducción



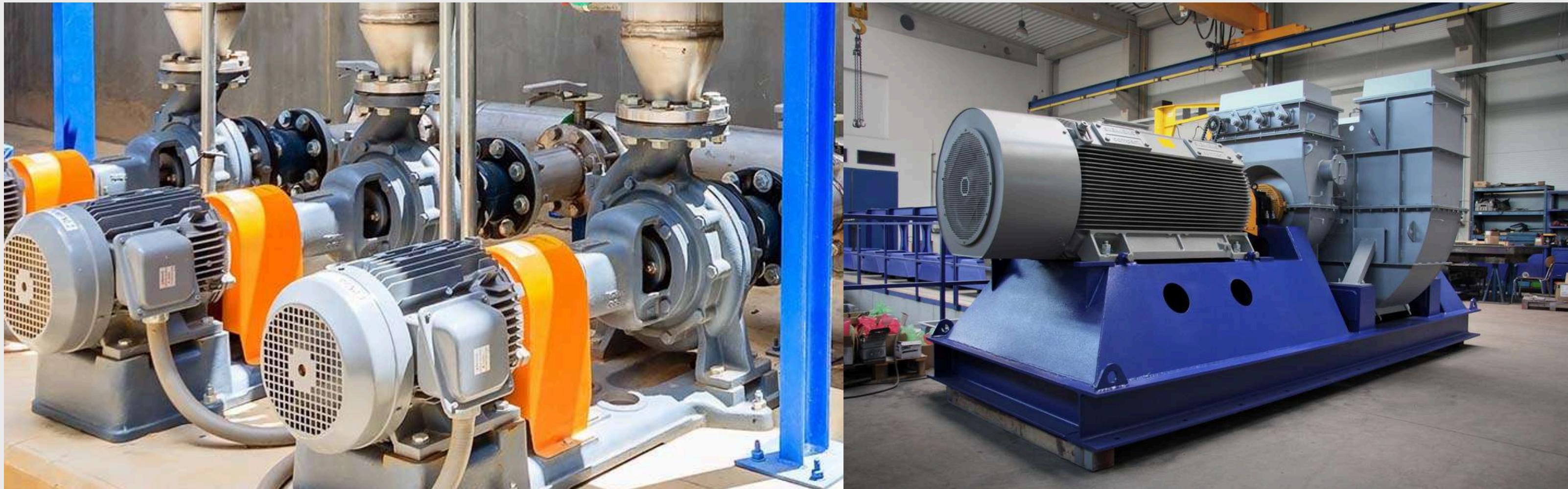
# Ejemplo.- Placa de datos de un motor de inducción

Motor de 500HP con código F de una CCC:



## 2. Aplicaciones del motor eléctrico

- La correcta aplicación de un motor va más allá que cubrir los requisitos de potencia de la carga.
- Motores que hacen girar cargas constantes tales como ventiladores o bombas son dimensionados usando como base la potencia nominal requerida para estas cargas.



## 2. Aplicaciones del motor eléctrico

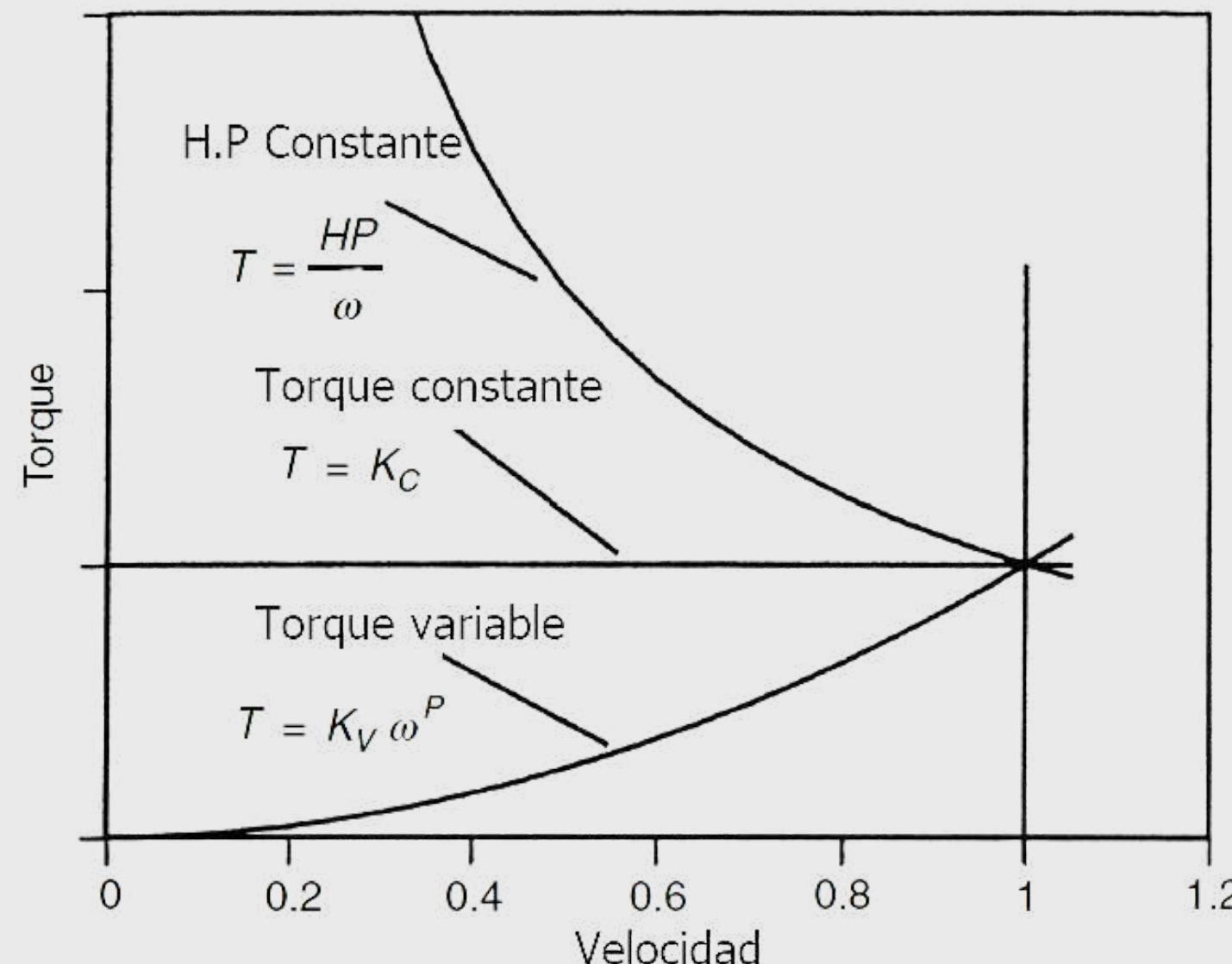
- La gran mayoría de motores acoplados a cargas que varían con el tiempo tales como trituradoras o polipastos, estos son dimensionados con base a su capacidad térmica.
- Se tiene que seleccionar un motor que cumpla con los requisitos de torque en el punto más critico de la carga sin sobrecalentarse.



## 2. Aplicaciones del motor eléctrico

Las cargas mecánicas pueden ser clasificadas en tres tipos:

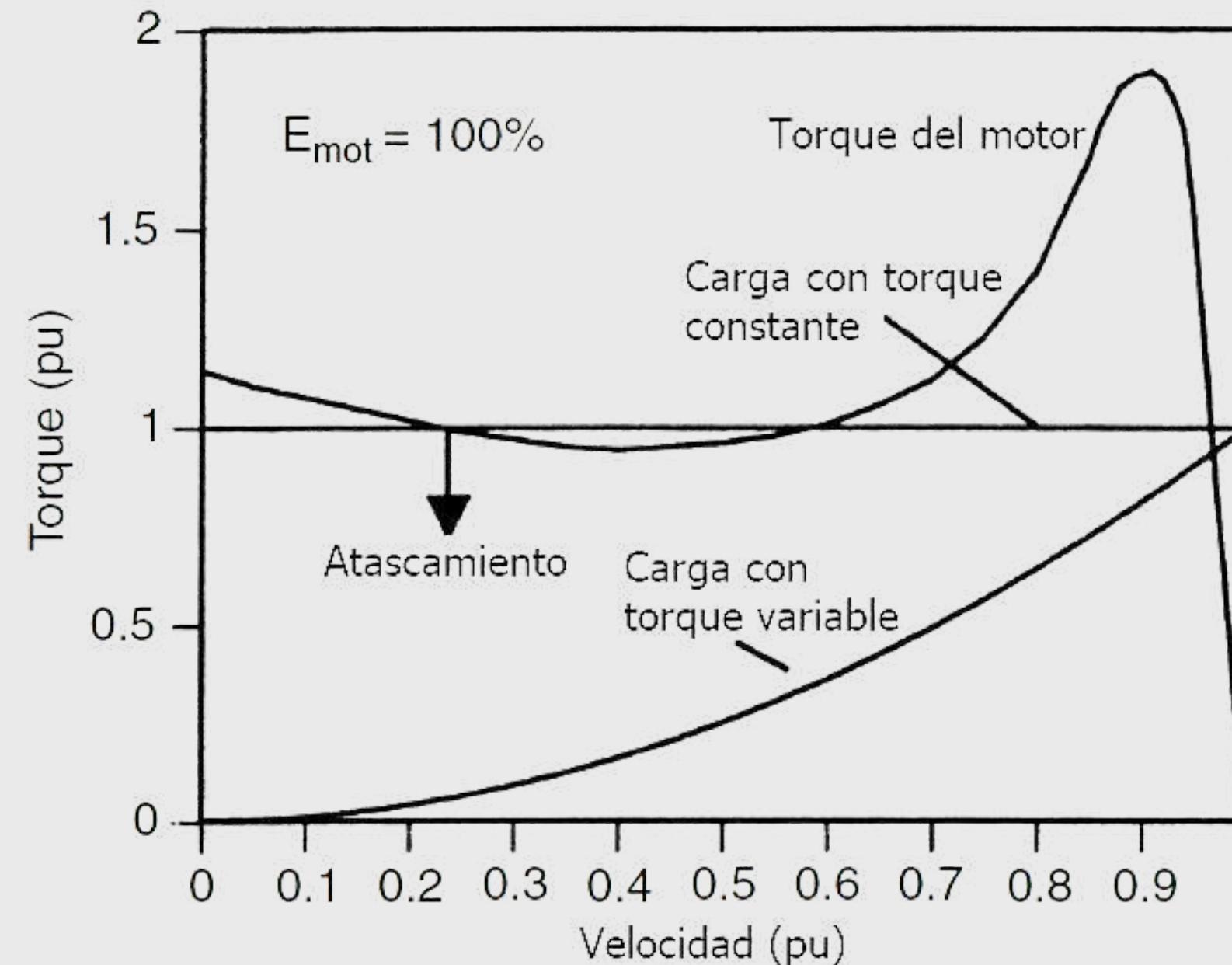
- Torque constante
- Torque variable
- Potencia constante



- Cargas de torque constante a todas velocidades pueden ser:
  - Lineas transportadoras
  - Gruas
  - Polipastos
- Cargas de torque variable:
  - Ventiladores
  - Bombas centrifugas
  - Compresores
- Los motores que están acoplados a cargas que requieren potencia constante son inicialmente arrancados con la carga desacoplada.

## 2. Aplicaciones del motor eléctrico

Suponiendo que tenemos un motor con diseño tipo NEMA B, el cual tiene un torque a rotor bloqueado de 115% el torque nominal y dos cargas, una con torque fijo y otra con torque variable:

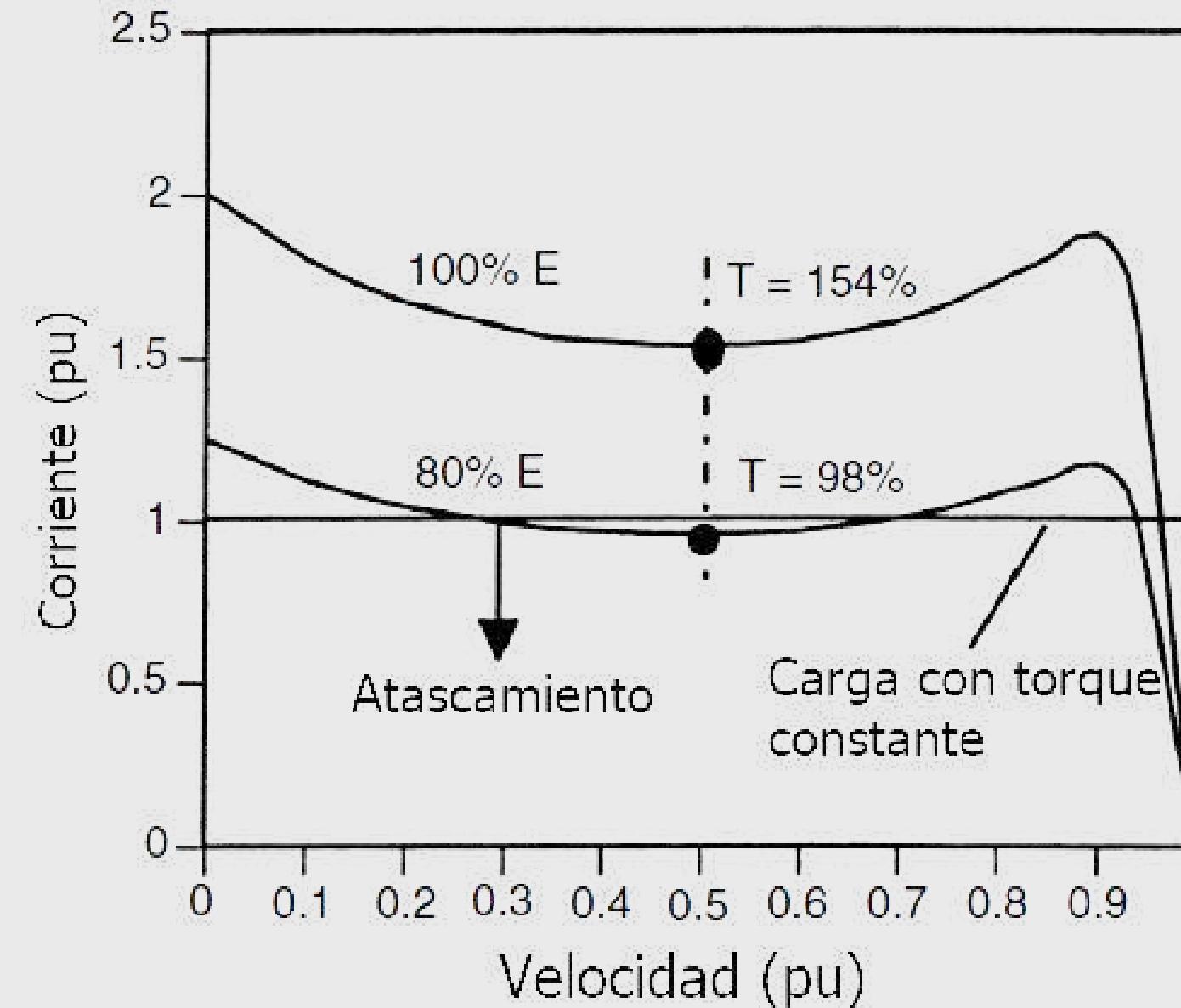


Este motor no puede acelerar la carga que requiere torque constante, el motor quedara detenido cuando el motor alcance el 20% de su velocidad.

## 2. Aplicaciones del motor eléctrico

Los motores tipo NEMA B son comúnmente usados en aplicaciones de torque variable, los diseños NEMA C y NEMA D tienen mayor torque de arranque y son usados con cargas de alta inercia.

Suponiendo un motor con diseño NEMA C:



El motor logra acelerar la carga con torque constante, sin embargo, en caso de existir una tensión del 80% del valor nominal en las terminales del motor, el motor se quedará parado al llegar al 30% de su velocidad.

### **3. Riesgos comunes de los motores eléctricos**

Los daños al motor se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### **1. Motor**

- Falla de aislamiento
- Fallas mecánicas
- Perdida de campo en motores síncronos

#### **2. Carga**

- Sobrecarga
- Perdida de carga
- Estancamiento
- Alta inercia

#### **3. Fuente**

- Falla en alguna de fases
- Sobre tensión o bajo voltaje
- Fases invertidas

#### **4. Ambiente**

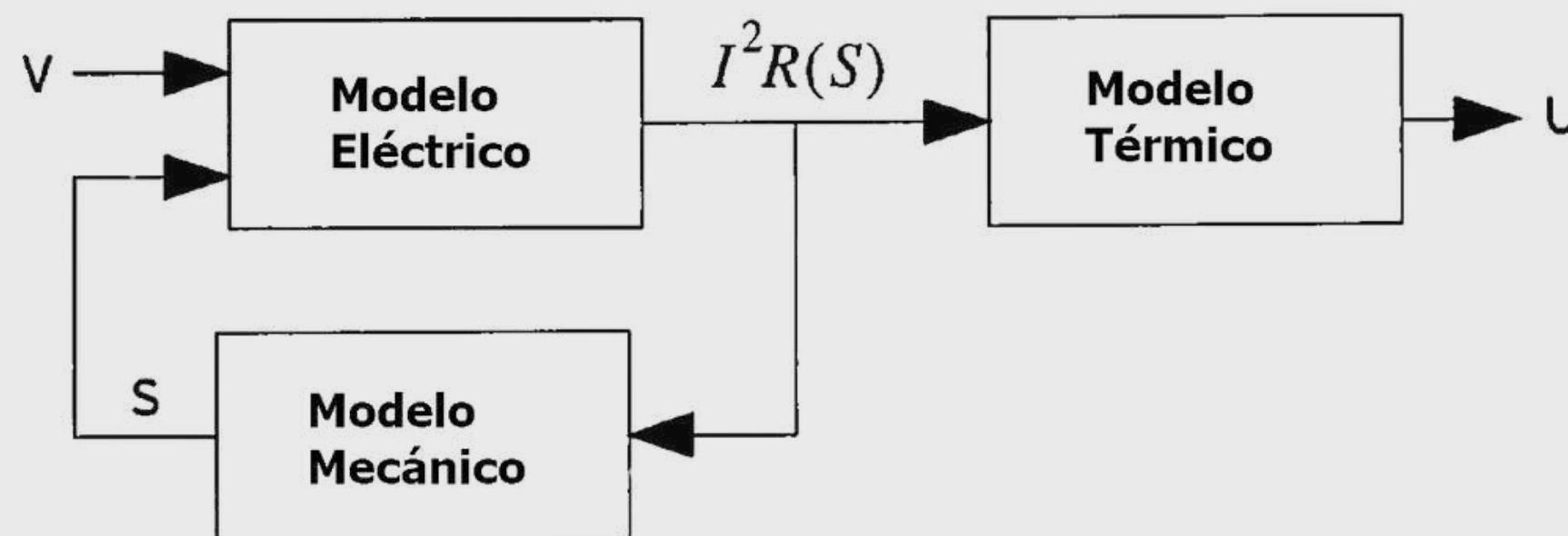
- Temperatura ambiente alta
- Humedad
- Alto nivel de contaminación (ventilación bloqueada)

#### **5. Operación**

- Sincronización o re arranque fuera de fase
- Sobrecargas
- Ciclos de esfuerzos constantes y prolongados

## 4. Protección del motor eléctrico

- Todos los sistemas y aparatos eléctricos necesitan protecciones en caso de corto circuitos ya sean internos o externos, los motores de inducción no son la excepción.
- Los motores eléctricos son equipos limitados por su capacidad térmica por lo que se deben utilizar métodos de protección para prevenir sobrecalentamientos durante la operación del motor.
- Los motores presentan un reto particular ya que se requiere tener conocimiento de varios aspectos tales como aspectos térmicos, mecánicos y eléctricos.



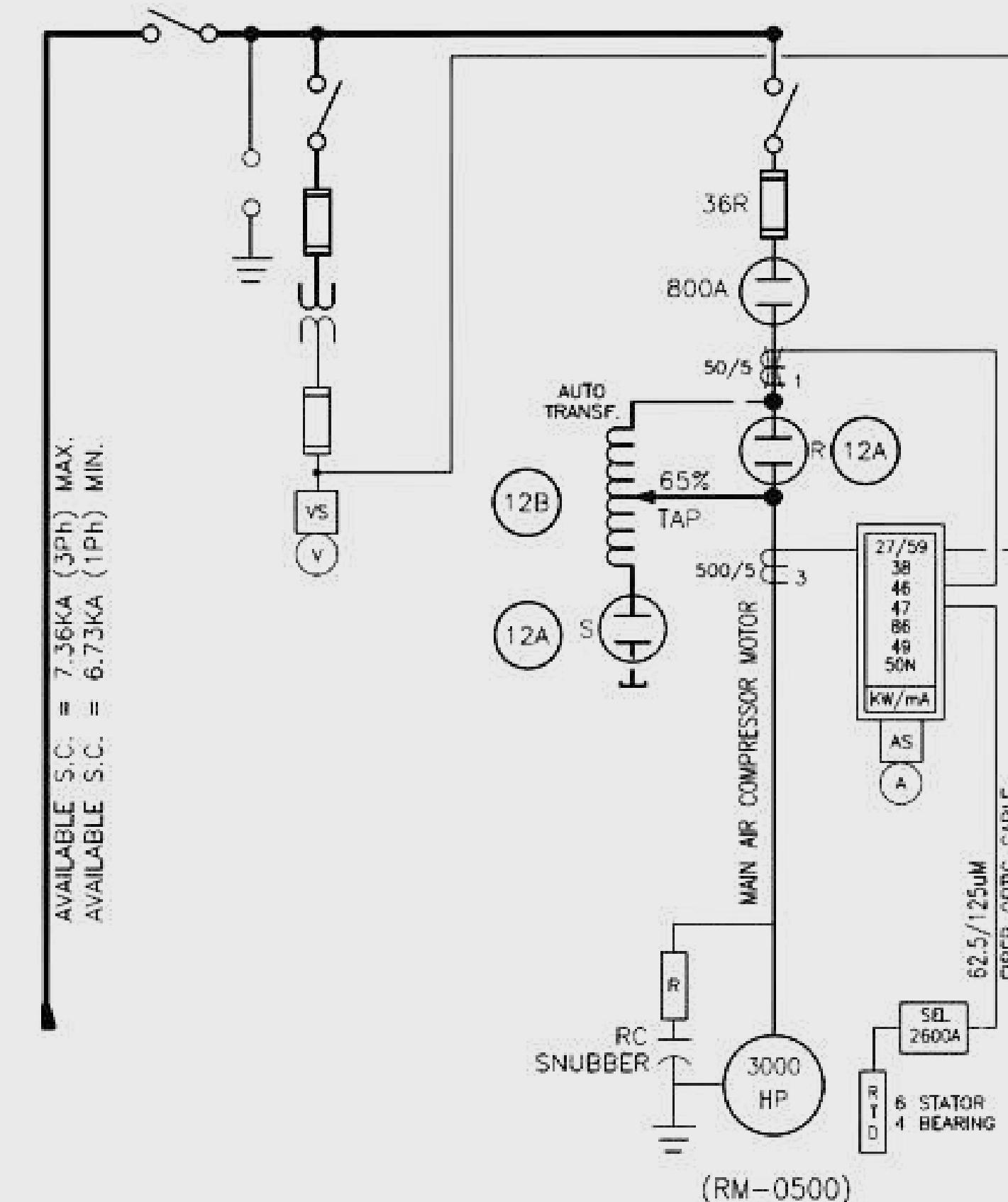
# 4. Protección del motor eléctrico

## Selección de TCs de protección

La corriente nominal del motor deberá de ser aproximadamente el 60% de la capacidad de corriente primaria nominal del transformador de corriente.

- Un motor de 250A nominales
- Corriente primaria de los TCs =  $250 * 1.6 = 400A$

Se eligen TCs de 400:5



## 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)

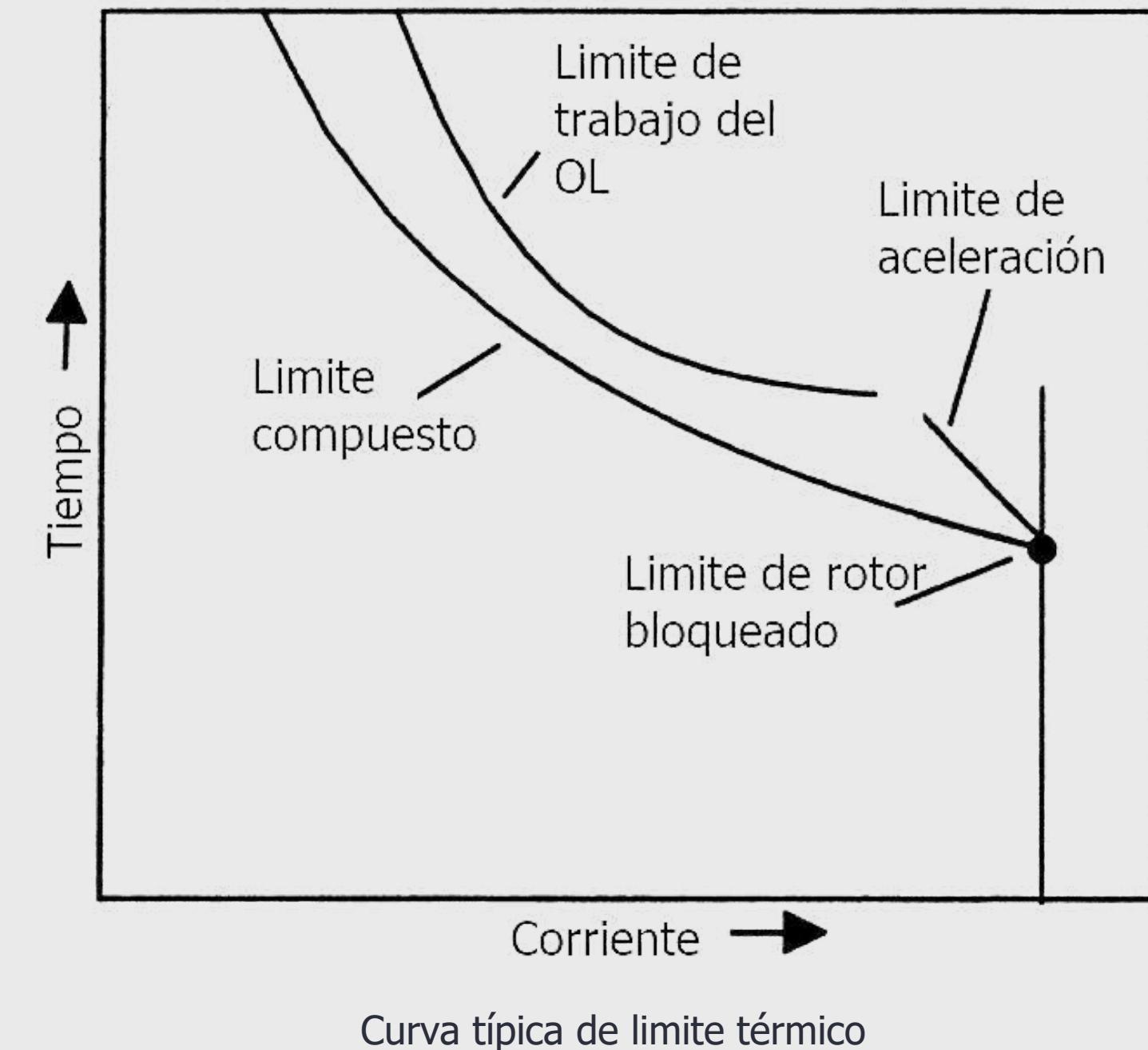
- El principal objetivo de una protección térmica es dejar al motor operar incluso con sobrecargas pero protegiendo el aislamiento del estator y las barras del rotor.
- Un motor puede sufrir daño térmico como resultado de sobrecargas o atascamientos causados por fallas mecánicas, errores de operación, arranques repetitivos o desbalance de corriente.
- El daño térmico puede afectar a uno o más componentes internos del motor, el daño al aislante puede ocasionar disminución a la vida útil del motor o una falla critica donde el motor quede fuera de operación.
- El aumento de temperatura dentro del motor esta en función de las perdidas por efecto Joule.

Debido a que la temperatura aumenta con la corriente podría resultar lógico aplicar elementos de sobre corriente para proteger el motor contra daños térmicos. Sin embargo, esto resulta complicado por la naturaleza de las características térmicas del motor y la variabilidad de la carga y la corriente.

- **Si se quiere proteger un motor, sus capacidades de sobrecarga deben ser conocidas.**

## 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)

- Las curvas en frio hacen referencia a motores desacoplados de la carga y a temperatura ambiente.
- Las curvas en caliente hacen referencia a la temperatura de funcionamiento del motor con carga nominal.
- En condición de rotor bloqueado el calentamiento del rotor es de 108 veces más severo que en su operación normal, en el caso del estator esta condición representa 36 veces la operación normal.
- La parte de aceleración y rotor bloqueado en las curvas de límite térmico son dependientes del voltaje.



# 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)

La protección por sobrecarga se logra cuando el elemento de sobrecorriente dispara antes de que los límites térmicos sean excedidos, el retardo de disparo está limitado por los transitorios de arranque y aceleración.

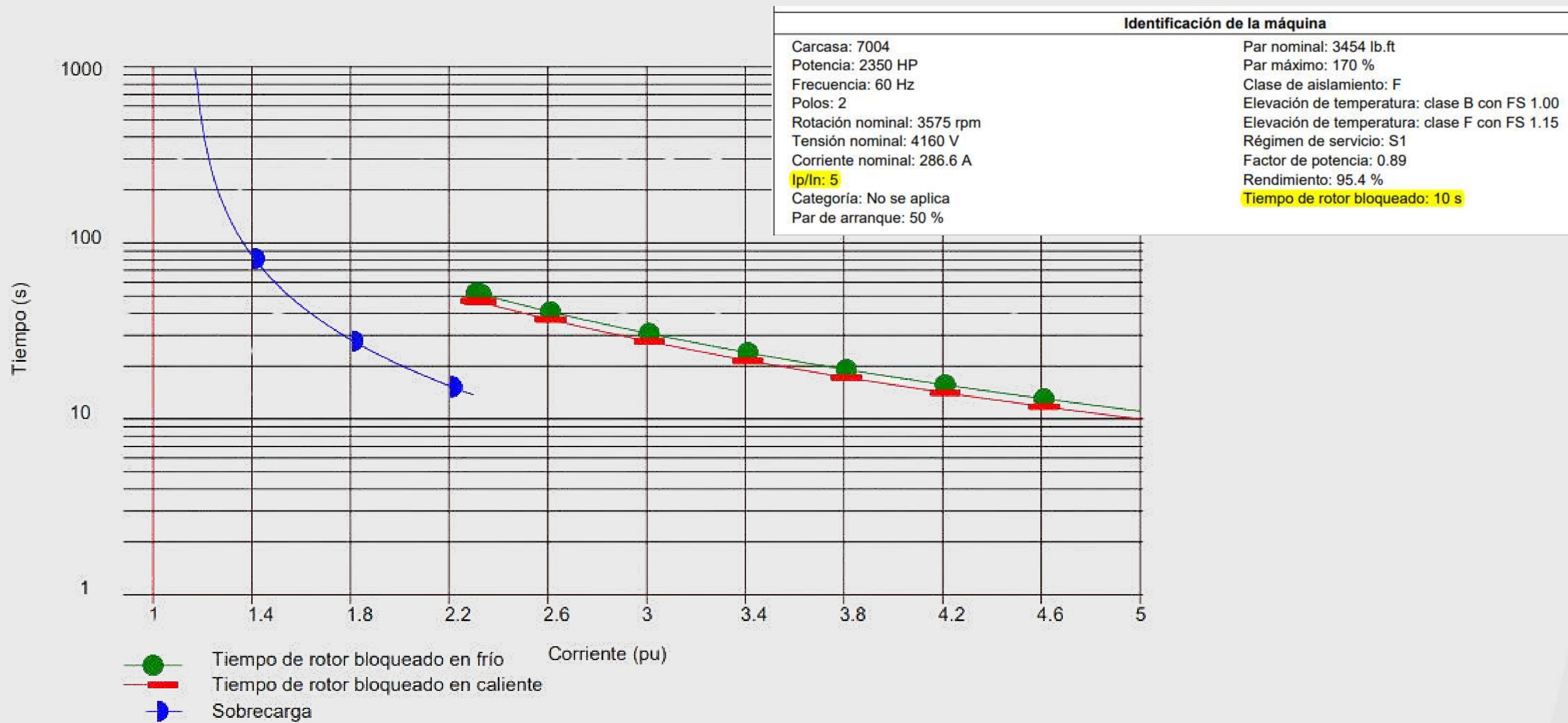
Existen dos formas de protección por sobre corriente en motores:

- Elementos térmicos de disco: Son elementos que funcionan con principios electromecánicos
- Elementos térmicos digitales: Son modelos matemáticos que simulan un sistema térmico que responden a la corriente, estos elementos intentan replicar el comportamiento exponencial del calentamiento y enfriamiento del motor.

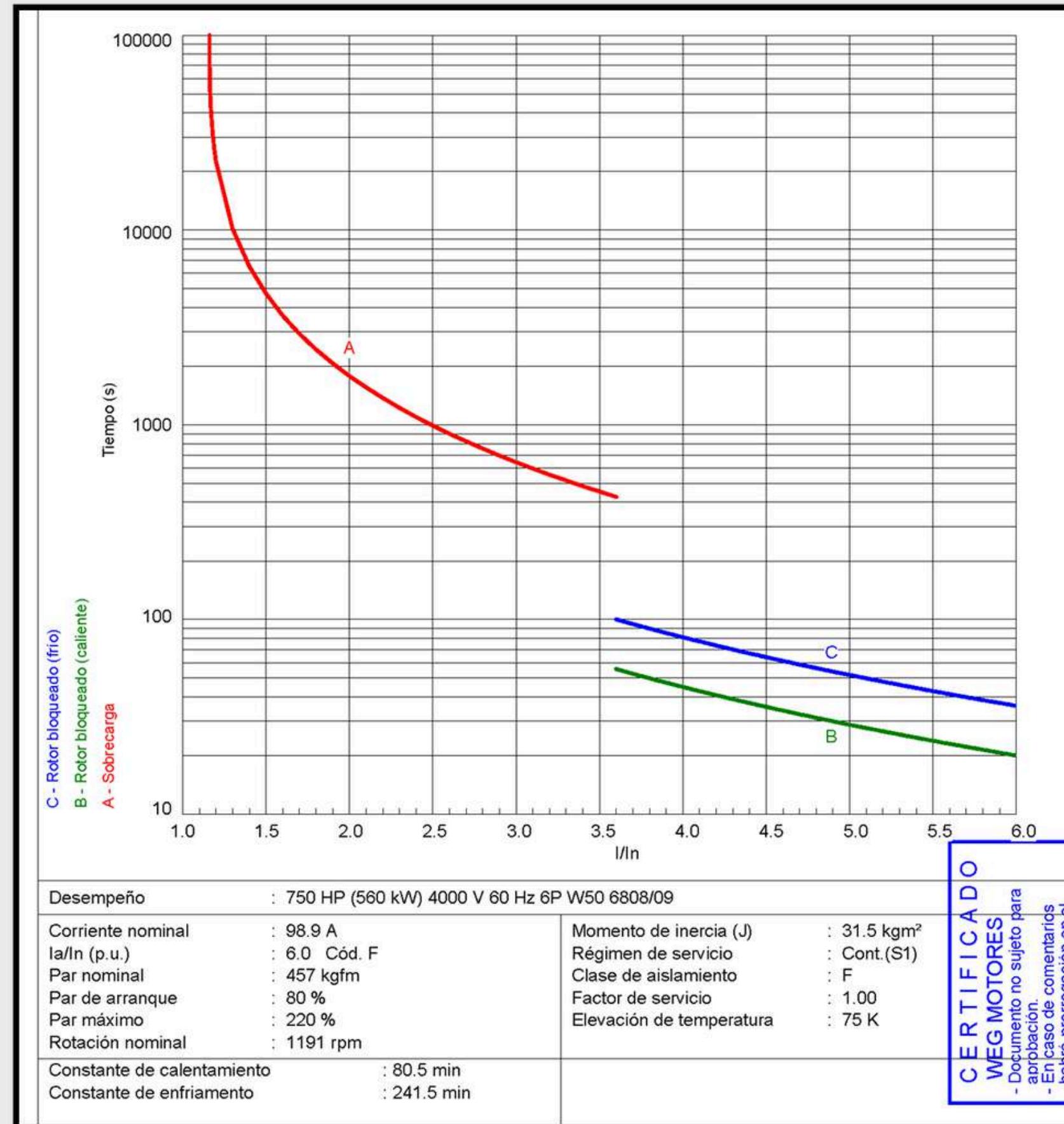
El tiempo de enfriamiento de un motor puede variar significativamente si el motor se encuentra en estado de reposo o en movimiento.

En la actualidad con los relevadores micro procesados los elementos térmicos incluso monitorean efectos térmicos severos debido a desbalance de corrientes de fase.

# 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)



# 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)



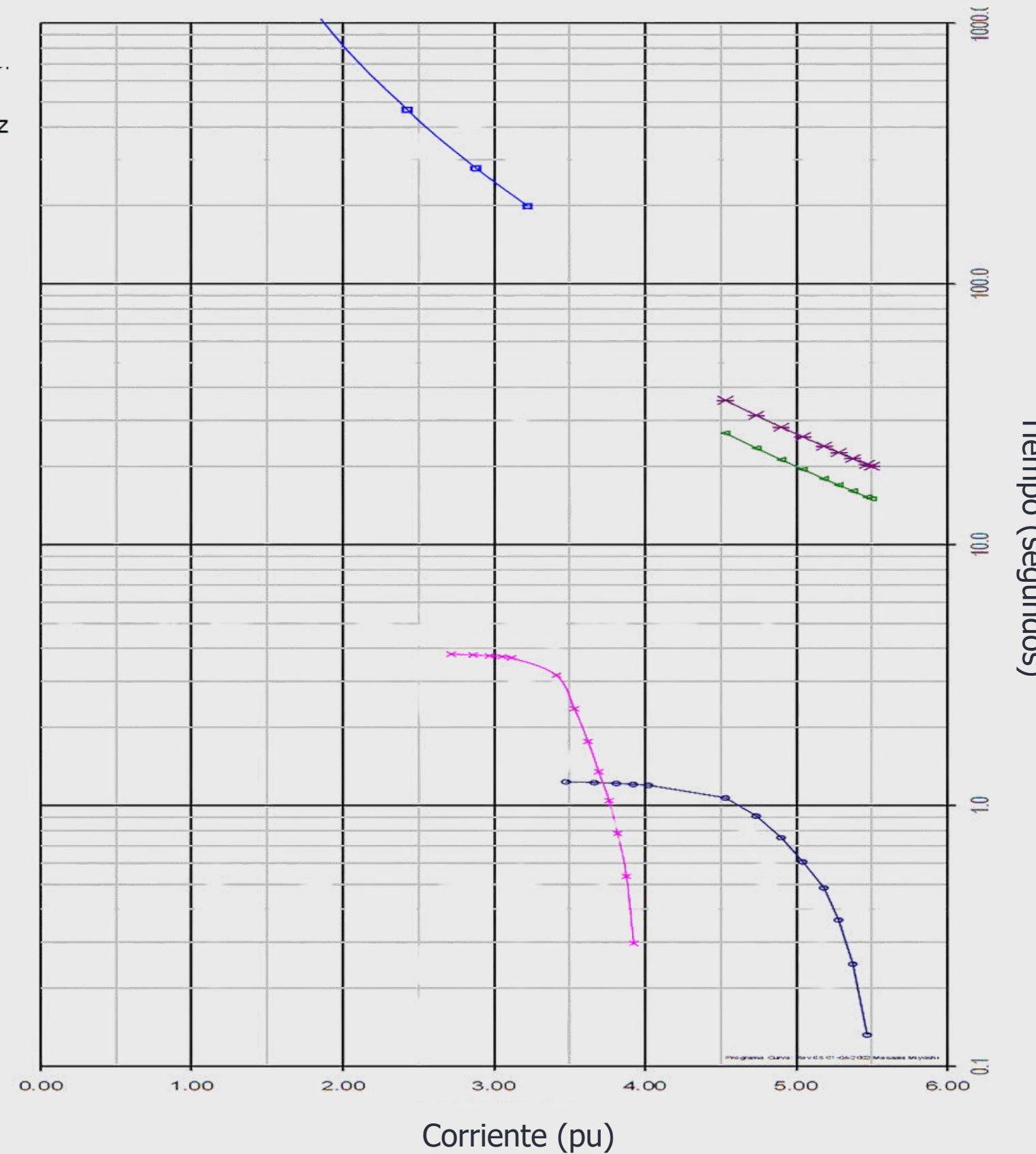
# 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)

WK<sup>2</sup> / GD<sup>2</sup> (Total) = 13630 Lbft<sup>2</sup> / 2297 kgfm<sup>2</sup>

IEEE Std.620

KV 8660 14 POLES 2000 HP (1491.4 KW) 509 RPM 4000 VOLTS 285 AMPS 1.00 SF 60 Hz

- ▲ Locked Rotor - Hot
- \* Locked Rotor - Cold
- Running
- Accel. Current 1.00 Vn
- \* Accel. Current 0.80 Vn



# 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)

## Criterios para el cálculo de ajustes

### Pickup

El usuario debe de definir qué corriente implica una sobrecarga. Sin embargo, los valores típicos de arranque (pickup) del elemento 49 son:

- 110-115% de la corriente a plena carga del motor, para motores con un SF 1.0
- 120-125% de la corriente a plena carga del motor, para motores con un SF 1.15 o más.

### Curva característica

En los dispositivos digitales de protección existe la posibilidad de seleccionar el tipo de curva característica de protección, siguiendo el criterio del procedimiento CFE G0100-31 este nos recomienda utilizar una curva tipo I<sub>2t</sub> por ser la más adecuada a las características del motor.

# 4.1 Sobrecarga y el modelo térmico (49)

## Criterios para el cálculo de ajustes

Aun que un modelo térmico basado en corriente es ventajoso en cuanto a cambios rápidos de temperatura, generalmente es mucho mejor tener sensores térmicos incrustados en el estator para cambios lentos de temperatura.

## RTDs (Resistance temperature detectors)

El valor de disparo por RTD va del 90-100% de la temperatura nominal del aislamiento del estator, Por ejemplo: el aislamiento clase F esta clasificado con una temperatura de 155°C entonces un valor apropiado de disparo por RTD seria de 140 a 155°C.

## Coordinación

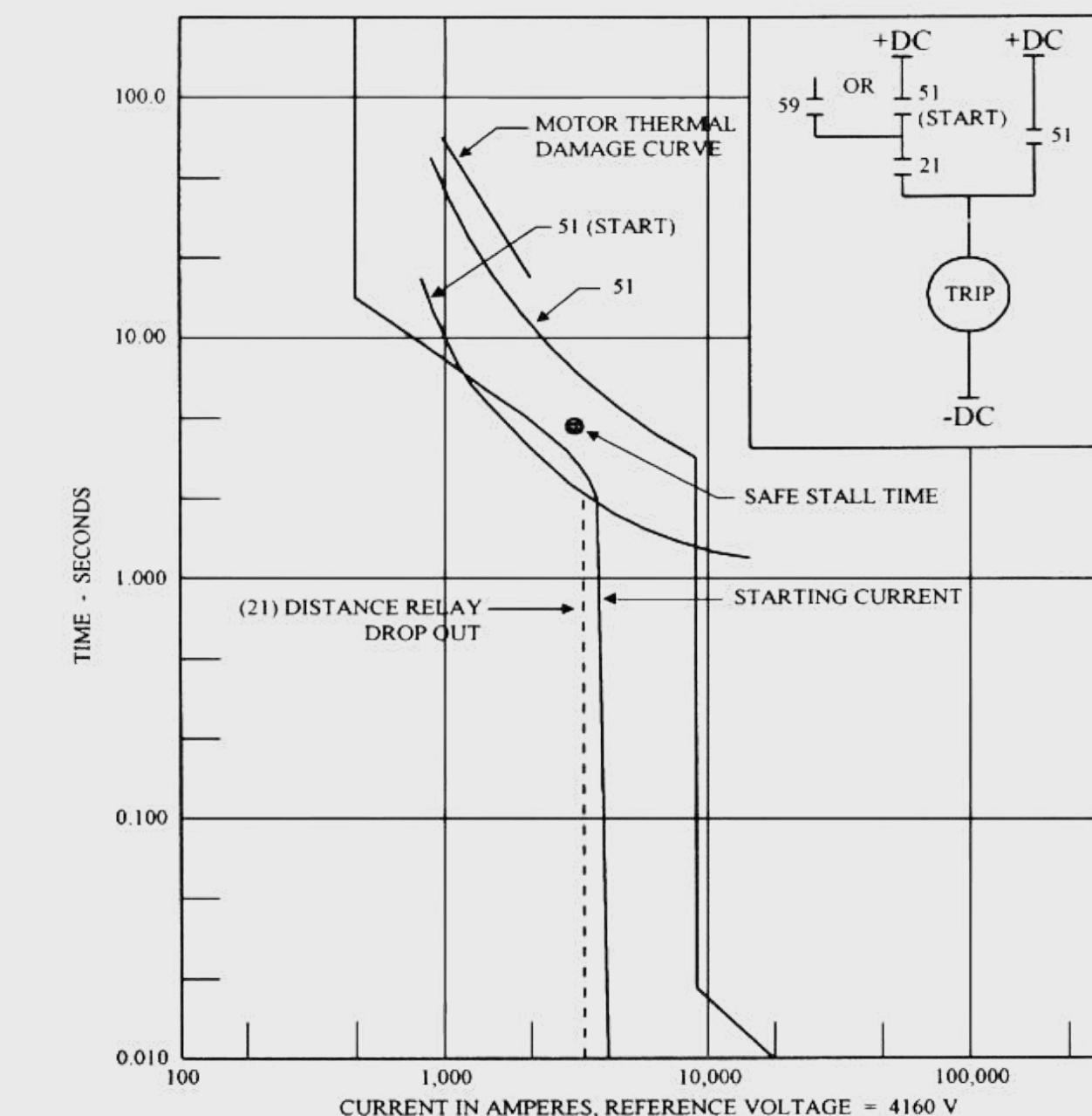
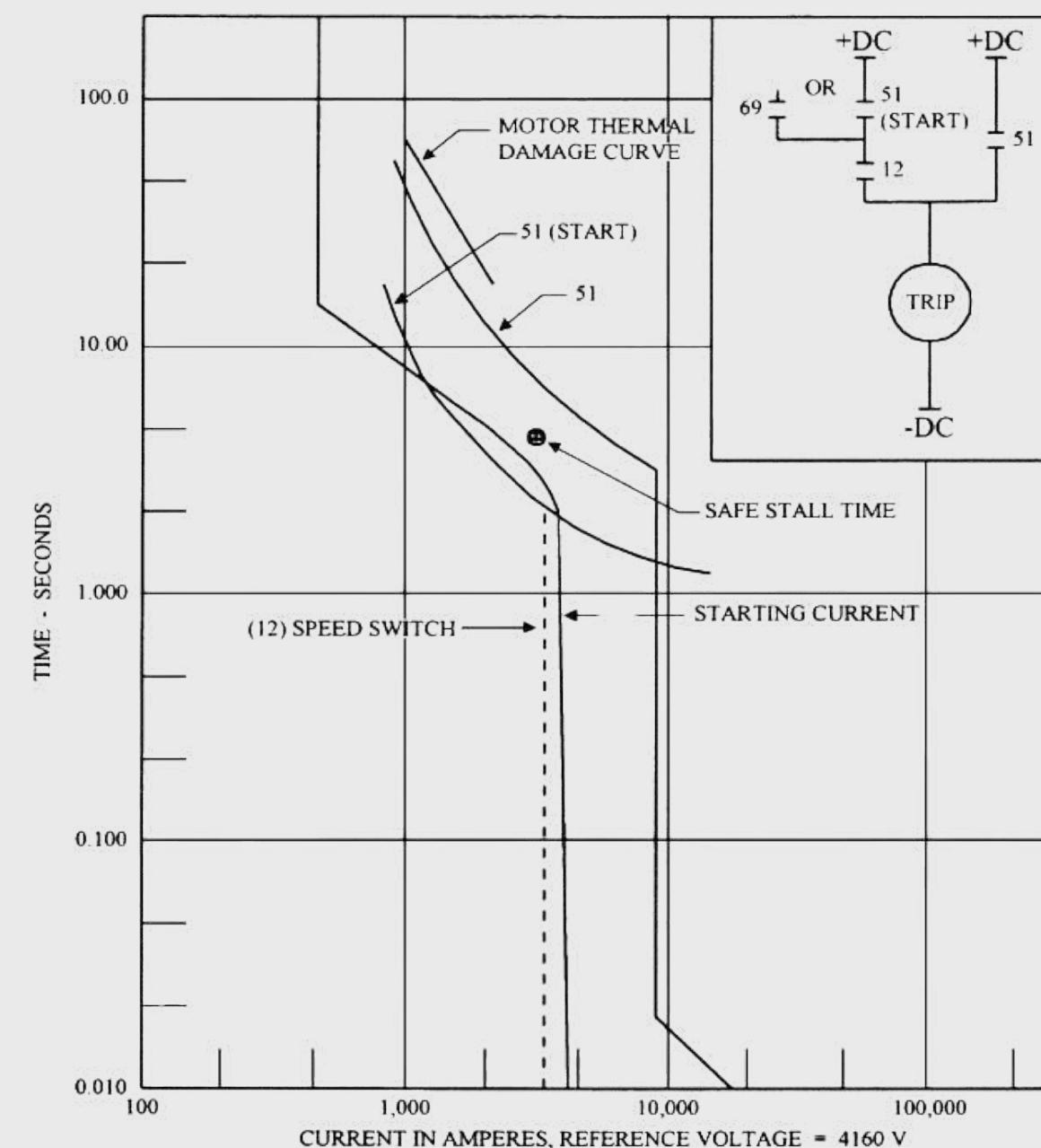
En caso de que haya ajustes de temporización disponibles, el procedimiento CFE G0100-31 dicta que se debe seleccionar un valor de tiempo entre el tiempo de arranque del motor y debajo de la curva de daño del motor a corriente de rotor bloqueado.

## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

- Usualmente se dice que el motor no es coordinable debido a que siempre es el final del circuito, esto no es totalmente cierto.
- Es posible utilizar un elemento 51P para proteger al motor contra sobrecargas, los márgenes requeridos deben ser verificados tomando en cuenta la tensión del sistema y las curvas del relevador a utilizar.
- El arranque máximo (pickup) que permite la NEC para motores con SF de 1.15 o más es de 125% FLA y para motores con SF de 1 es de 115% FLA.
- En caso de utilizar un elemento 51P para sobrecargas la NEC recomienda un margen mínimo de coordinación entre la corriente de arranque y la curva del relé, los siguientes márgenes únicamente son aplicables para arranques a tensión plena:
  - 2 segundos cuando el arranque del motor es de entre 5-10 segundos.
  - 5 segundos cuando el arranque del motor es de entre 40-50 segundos

## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

- En algunos casos de motores de gran inercia es necesario implementar un 51 (STARTING), en estos casos tenemos que tener elementos supervisores al arranque tales como un switch de velocidad (12) o un elemento de distancia (21).



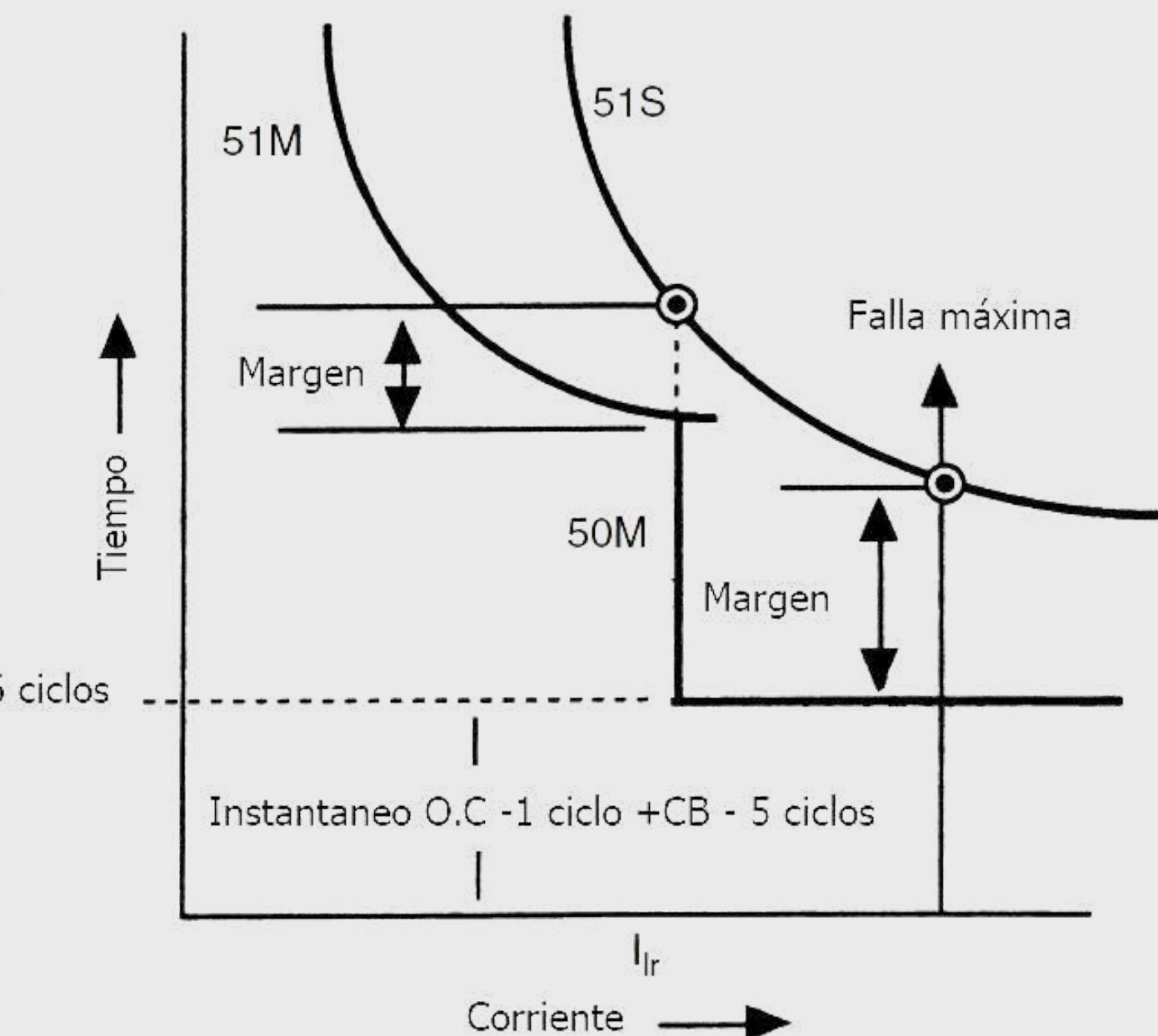
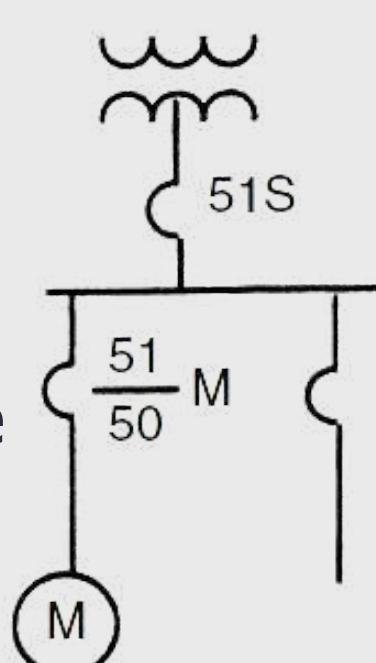
## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

- Para el elemento instantáneo (50) un criterio típico es ajustar el elemento al menos a 1.6 veces la corriente de arranque del motor, esto incluye la consideración de 6 a 15 ciclos de corriente asimétrica.
- Elementos instantáneos deben ser ajustados para detectar la falla mínima trifásica en las terminales del motor con un 300% de margen
- En motores grandes conectados a sistemas eléctricos débiles, la corriente de rotor bloqueado puede acercarse a la corriente de falla. En estos casos no es posible cumplir con el criterio del 300%.
- Existe una regla de dedo la cual dice que si los KVAs del motor son menores que la mitad de los KVAs del suministro se pueden utilizar elementos instantáneos.
- En caso de no ser posible utilizar elementos instantaneos, el elemento diferencial puede ser una alternativa.

## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Coordinación aguas arriba

- El uso de un elemento instantáneo impactará la coordinación con elementos aguas arriba.
- A medida que el tamaño del motor o la cantidad de arranques aumenta, el tiempo de operación del elemento de sobrecorriente incrementa y puede acercarse al elemento de sobrecorriente del interruptor principal del bus que alimenta al motor.

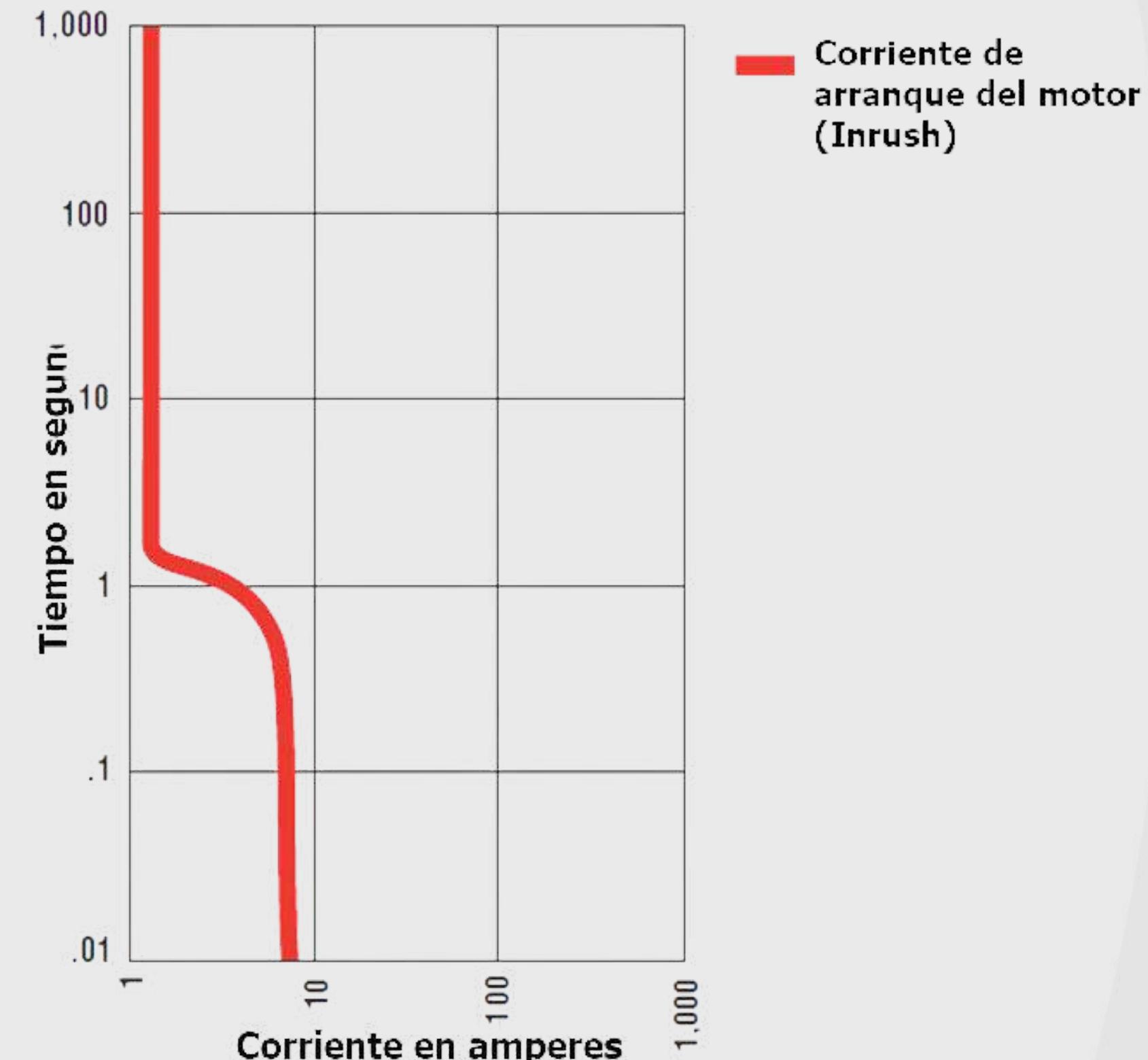


**En contraste con el elemento térmico, un corto circuito nunca va a desaparecer por si solo.**

## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección por fusibles limitadores de corriente en arrancadores.

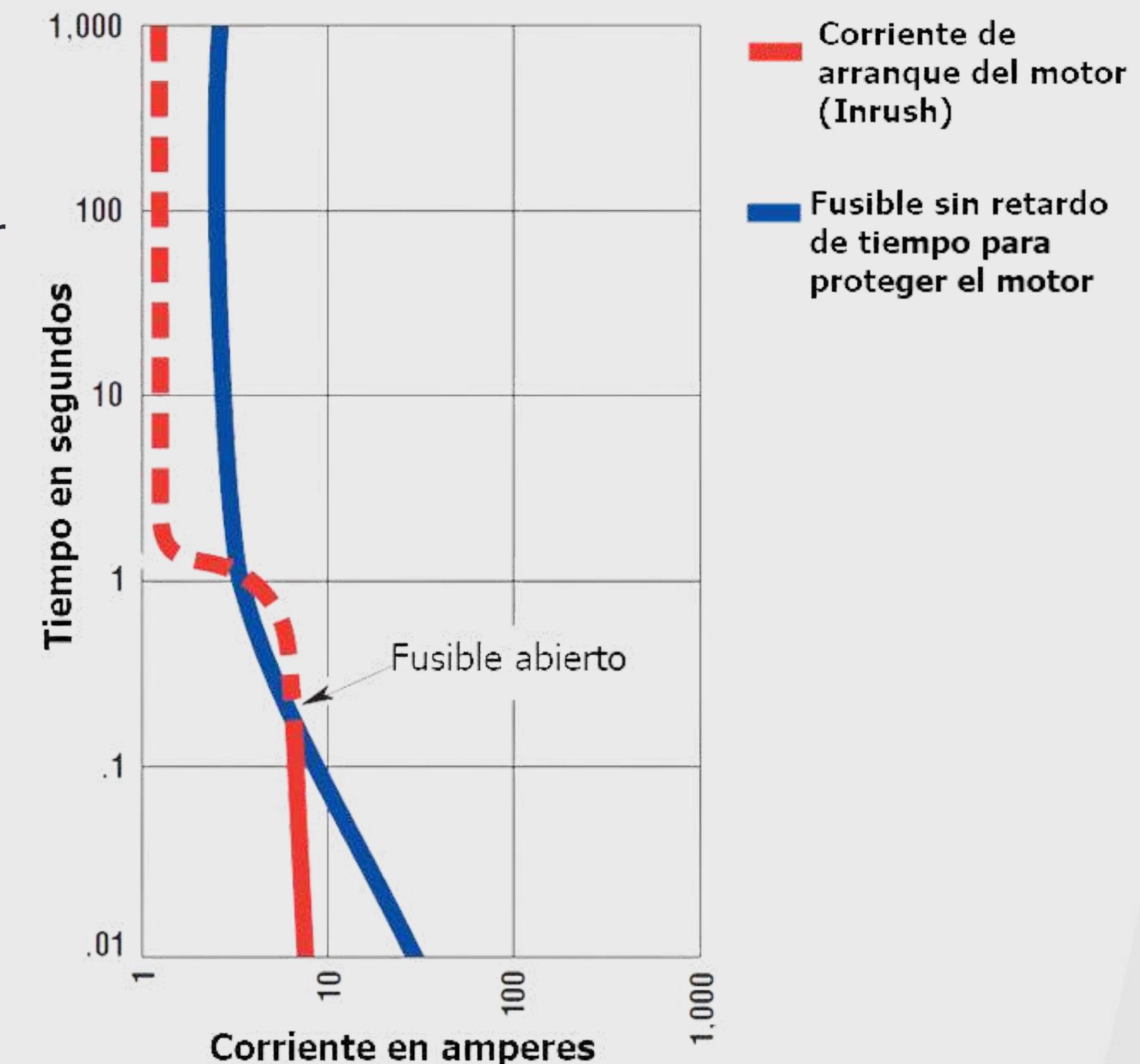
- El fusible deberá ser visto como una protección contra la sobrecorriente por corto circuito.
- La selección deberá considerar varios puntos:
  - Durante el arranque el motor exhibe un Inrush de hasta 20pu durante  $\frac{1}{2}$  Ciclo.
  - La corriente disminuye hasta 4 y 8 pu durante varios segundos.
  - Al terminar arranque la corriente toma el valor nominal o por debajo de la nominal ( $=< 1\mu$ )



## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección por fusibles limitadores de corriente en arrancadores.

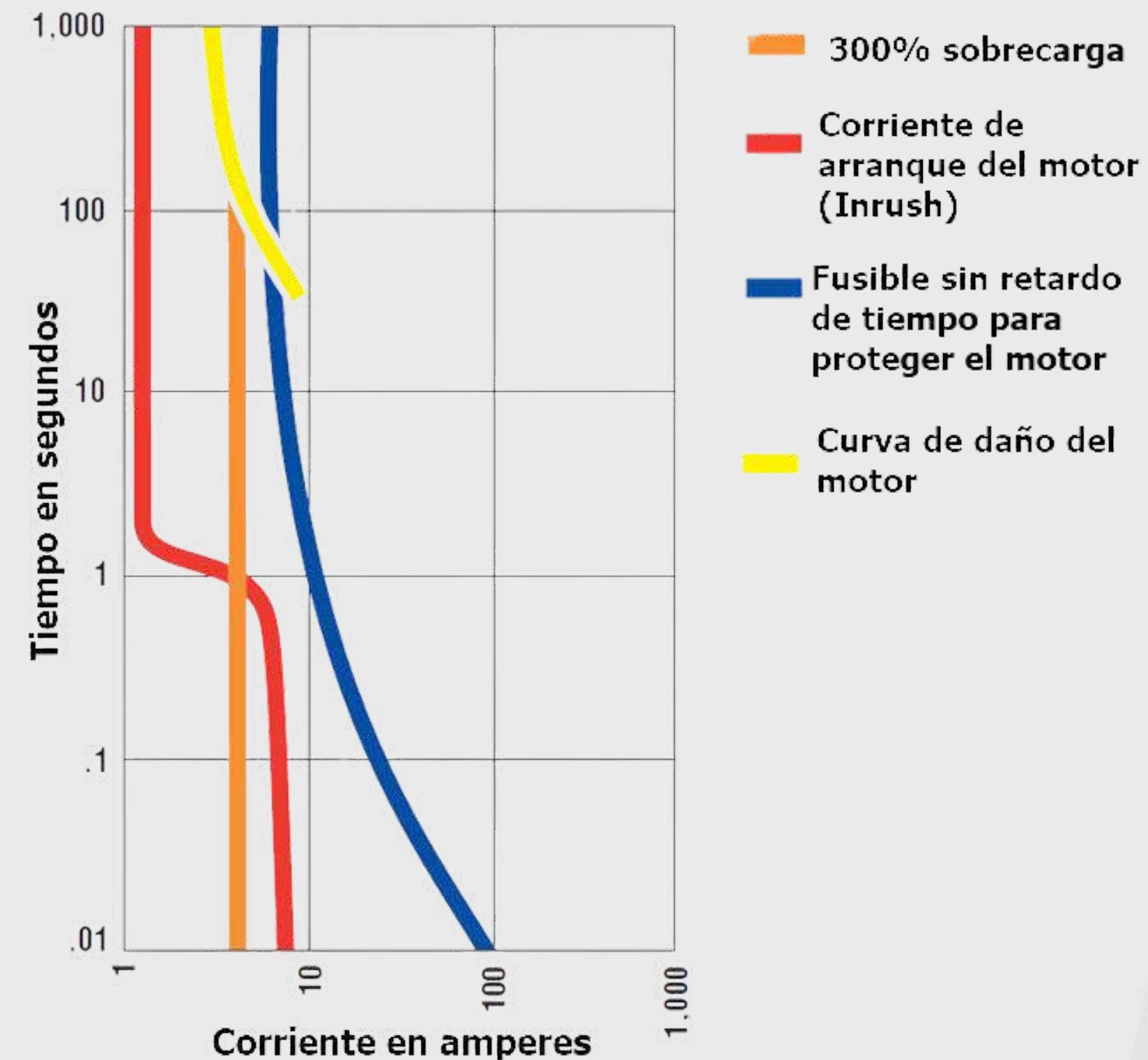
- La protección contra sobre carga deberá ser realizada por un elemento independiente.
- Intentar emplear un fusible limitador como sobrecarga producirá una operación indeseada al arranque.



## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección por fusibles limitadores de corriente en arrancadores.

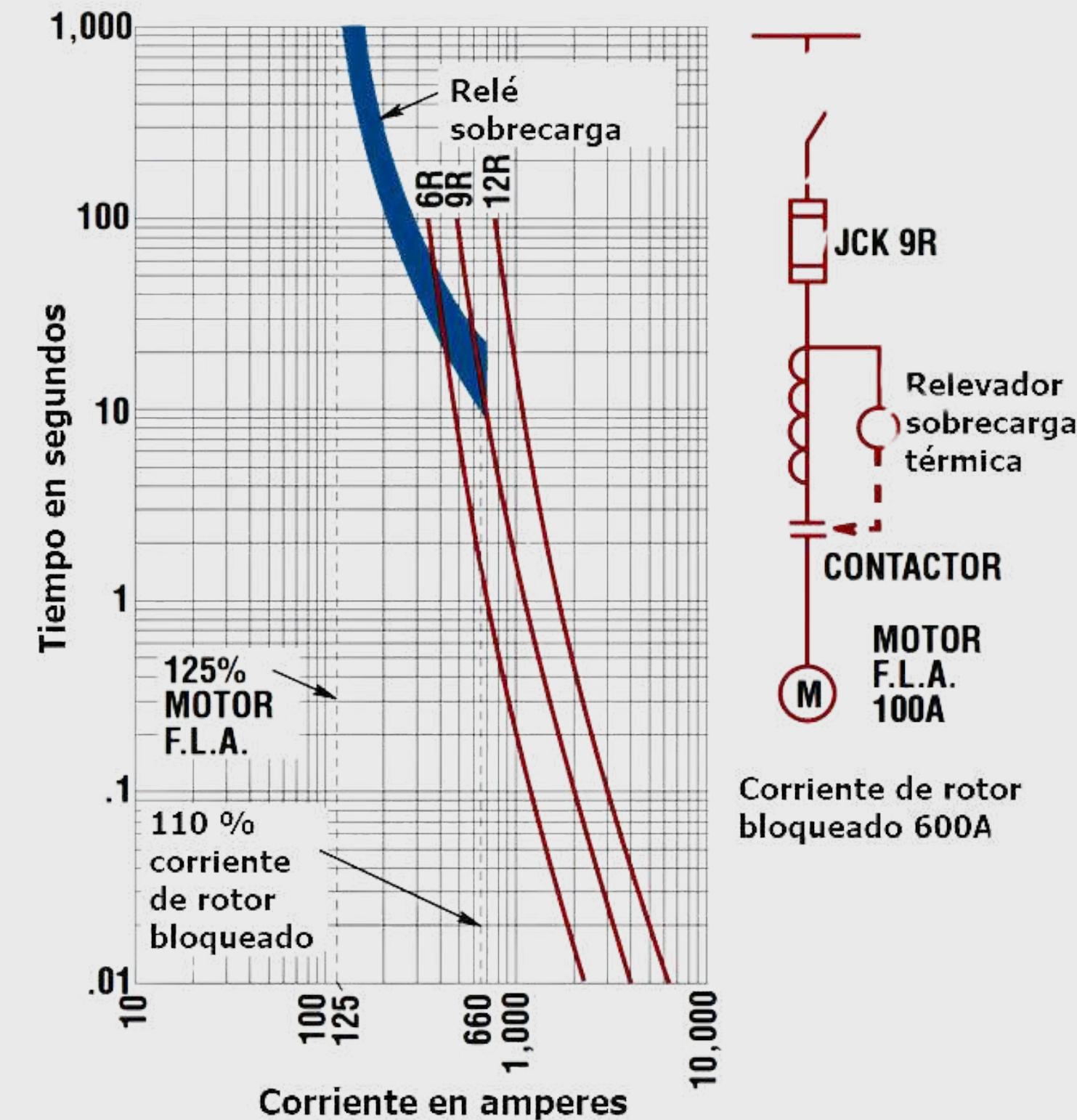
- Si se utiliza un fusible como elemento de protección contra corto circuito, se requerirá emplear un elemento de sobrecarga.



## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección por fusibles limitadores de corriente en arrancadores.

- Si el fusible es del tipo limitador o tipo "R":
  - La selección deberá ser tal que el elemento de sobrecarga cruce la parte del Minimum Melting Time (MMT) del fusible para una corriente mayor que el 110% de la LRA.



## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección por fusibles limitadores de corriente en arrancadores.

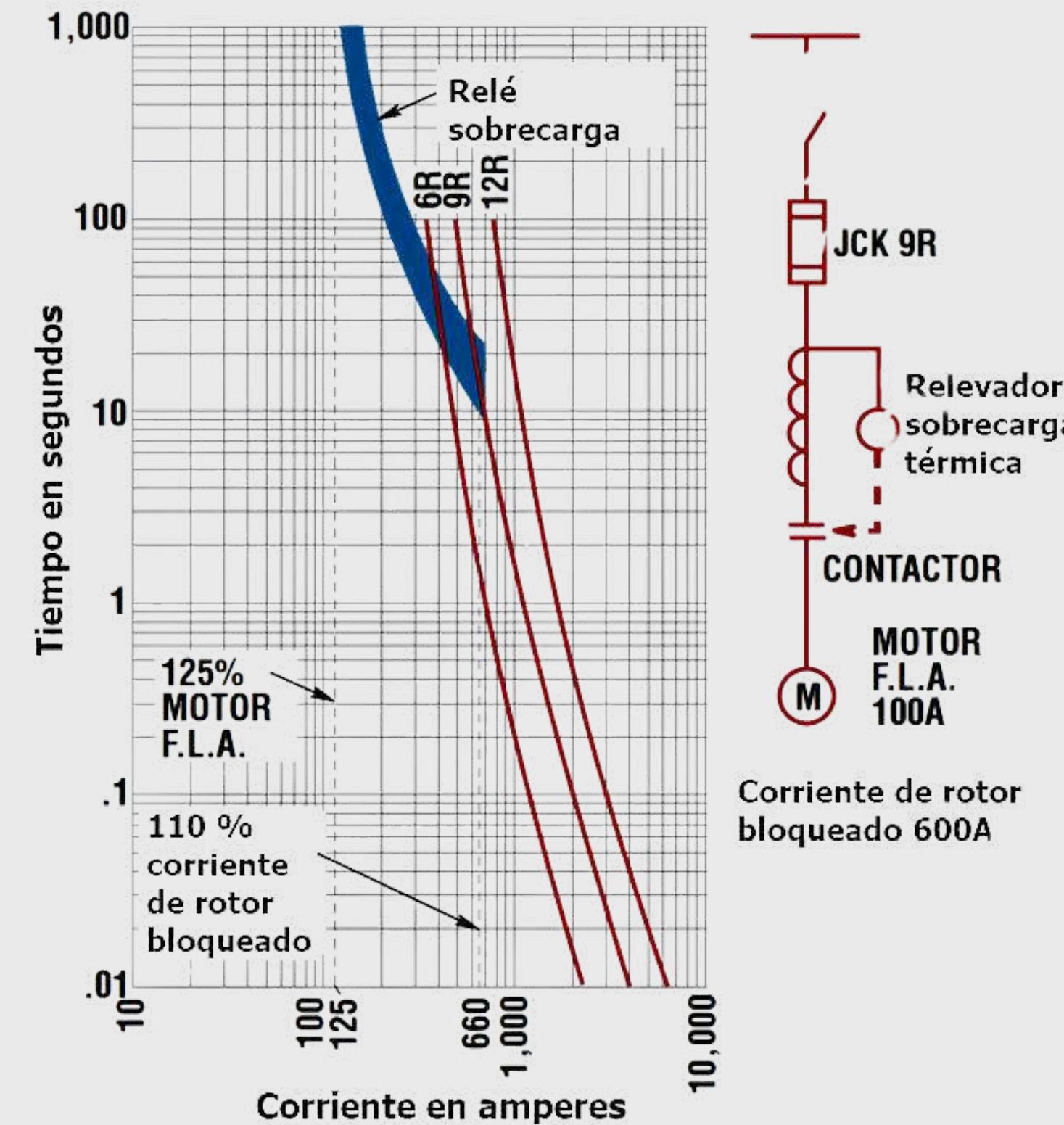
- Es posible seleccionar el fusible empleando la siguiente formula:

$$R_{fuserating} = \frac{6.6 \times FLA}{100}$$

- Suponiendo 100A de FLA:

$$R_{fuserating} = \frac{6.6 \times 100}{100} = 6.6$$

- Redondeando al tamaño "R" más cercano sería un 9R.
- La selección final deberá ser empleando la curva del fusible obtenido y las dos curvas adyacentes.
- Deberá ser el fusible más pequeño cuya característica MMT cruce con la de sobrecarga al 110% de la LRA.



## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección por fusibles limitadores de corriente en arrancadores.

- Es necesario verificar que:
  - Si dentro del cubículo la temperatura es mayor a 40°C (fuse derated). Corregir por temperatura.
  - Si existe enfriamiento forzado, en este caso, el fusible puede conducir más corriente.

## 4.2 Fallas de fase (50/51P)

### Protección contra rotor bloqueado durante la etapa de aceleración.

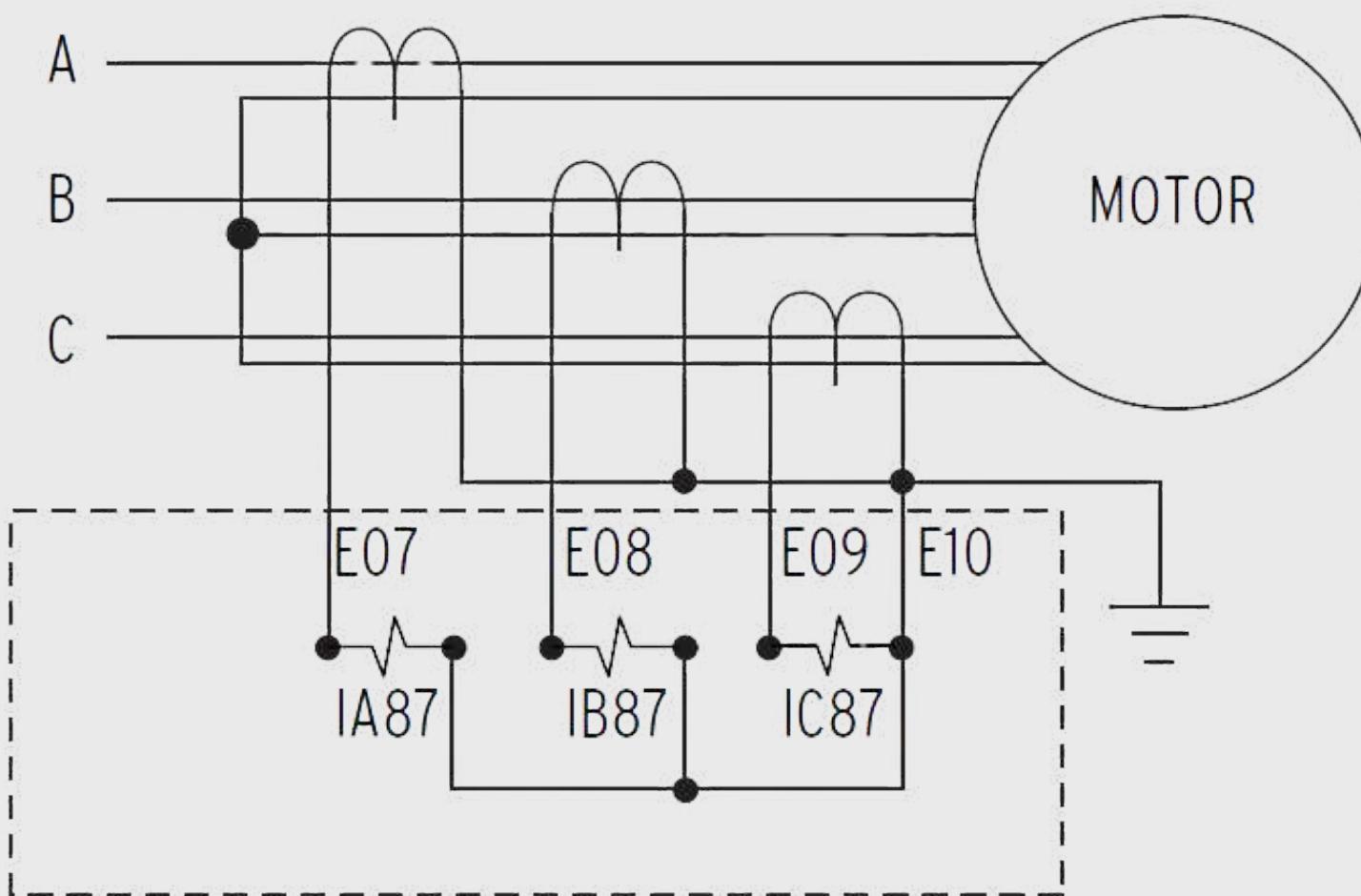
- Cuando el tiempo de arranque del motor es conocido, usualmente es necesario ajustar un elemento temporizado de sobrecorriente instantáneo (50LR), esto con el fin de proteger a la carga y al propio motor contra sobrecargas innecesarias, las recomendaciones son las siguientes:
  - Corriente de arranque del elemento de entre 3-5 veces la corriente a plena carga (FLA) del motor.
  - La temporización de elemento se ajusta considerando el tiempo conocido de arranque más 2-4 segundos dependiendo del límite de rotor bloqueado del motor.

## 4.3 Protección diferencial (87)

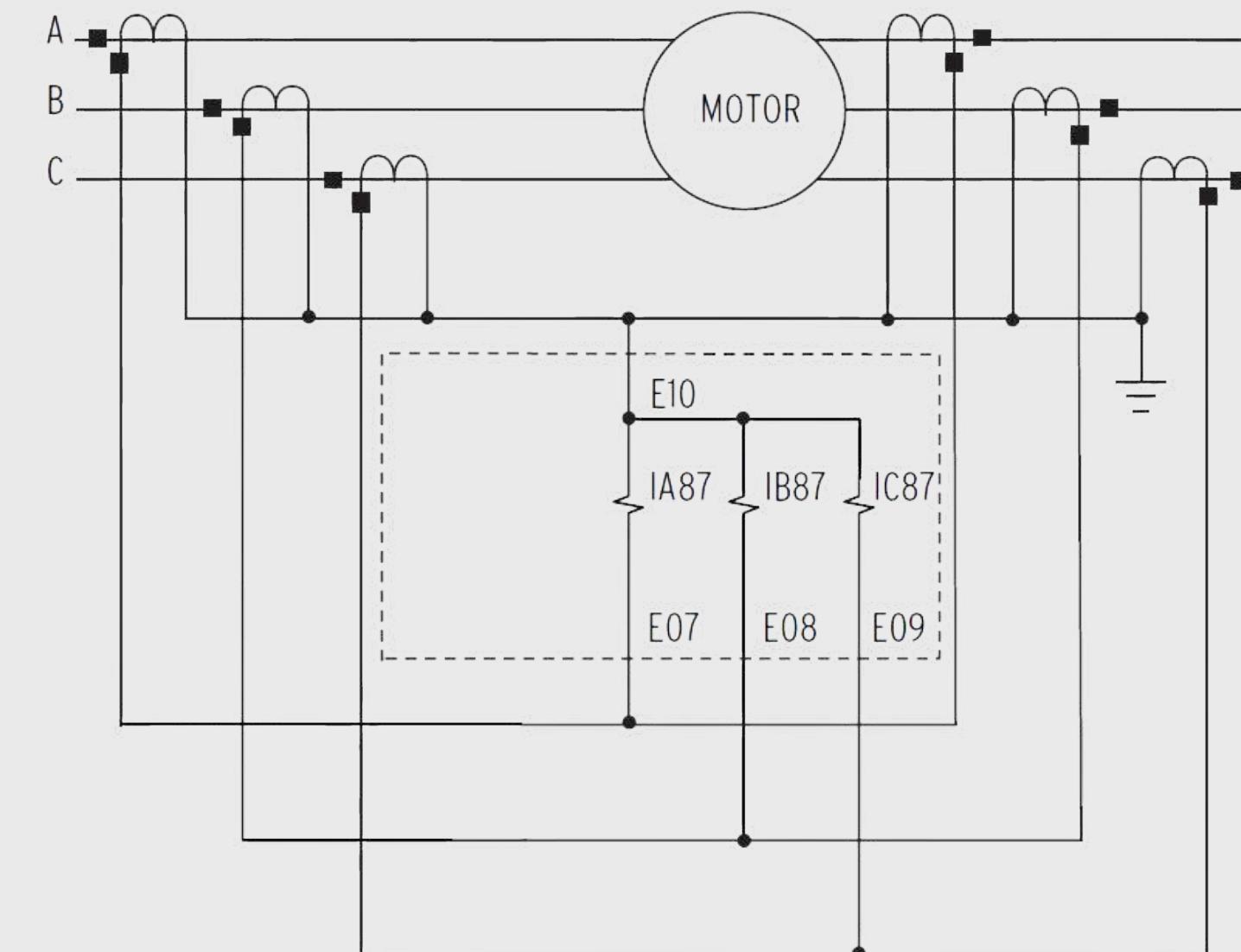
Los esquemas diferenciales detectan magnitudes pequeñas de falla durante operación normal y no disparan en falso debido a fallas externas de gran magnitud o durante el periodo de arranque, la sensibilidad y seguridad depende del esquema específico a utilizar.

- La protección diferencial nos proporciona la habilidad de detectar fallas entre espiras antes de que escalen a fallas más severas. Esto nos da la ventaja de reparar el motor y reducir el tiempo que se encuentra fuera de servicio.
  - **NOTA:** El elemento diferencial no puede detectar fallas entre espiras **en el mismo devanado**.
- Cuando se implementa el elemento diferencial es preferible usar el esquema de balanceo de flujo, este esquema requiere 6 hilos, esto se debe de especificar cuando se compra un motor.
- En caso de no poder utilizar el esquema de balanceo de flujos debido al espacio disponible o tamaño de los TCs tipo ventana se puede utilizar el esquema de suma diferencial.

## 4.3 Protección diferencial (87)



Conexiones para el esquema core-balanced



Conexiones para el esquema corriente diferencial

## 4.3 Protección diferencial (87)

### Balanceo de flujos o core balanced

- Este esquema es el más recomendado ya que se pueden detectar fallas de muy baja magnitud y la cantidad de corriente de falla es irrelevante para la operación del esquema.
- Este esquema debe de ser utilizado para motores críticos donde se quieren sensibilidad para fallas entre devanados.

### Esquema de suma diferencial

- Esta configuración tiene como desventaja la saturación de los TCs, este fenómeno puede causar falsas corrientes diferenciales.
- La sensibilidad disminuye y usualmente se requiere un retardo de tiempo en el arranque del motor.

Generalmente se utiliza una pendiente del 10% al 25% y un pickup de entre el 10% al 20% de FLA con un retardo de 0.1 segundos. (IEEE C37.96-2000)

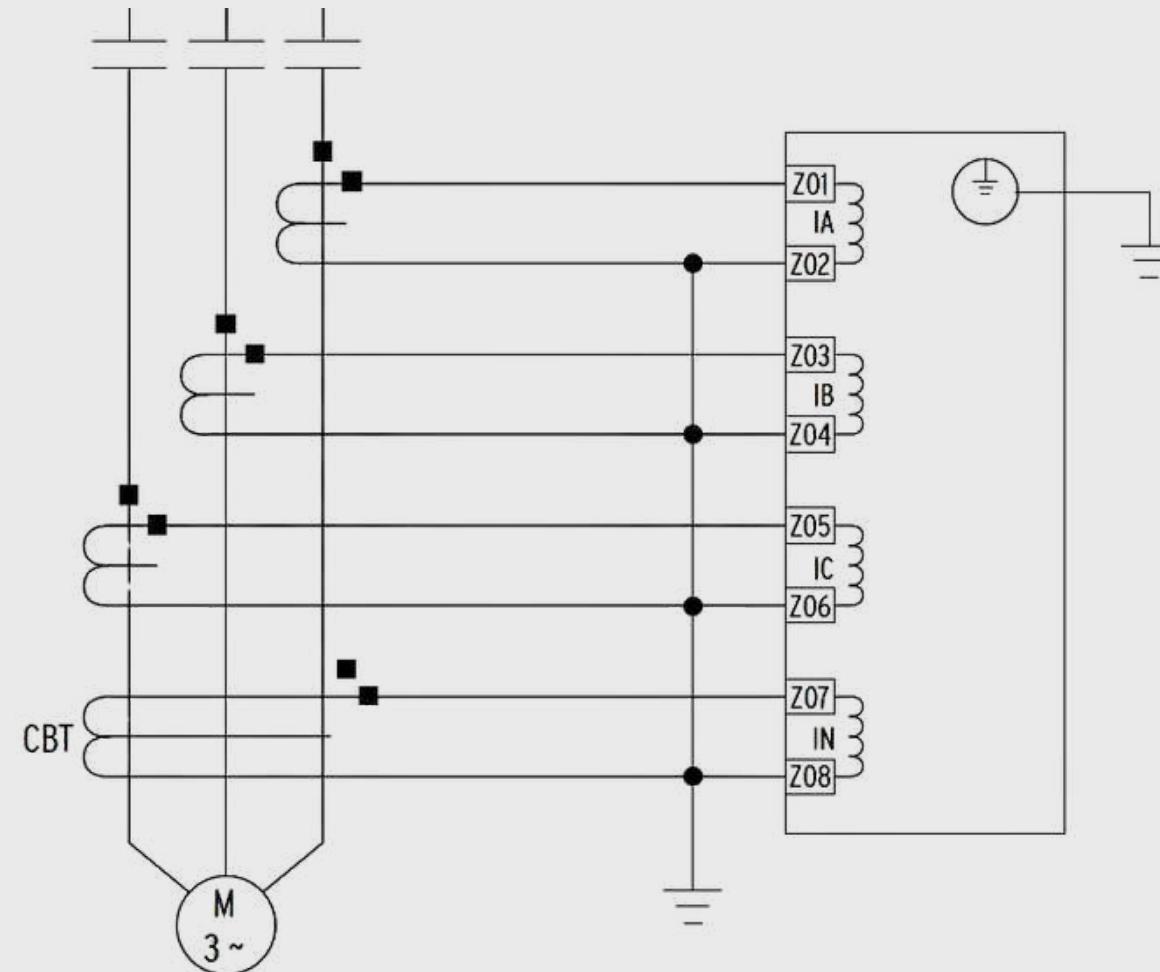
## 4.4 Fallas a tierra (50/51G, 50/51N)

- Una falla a tierra es mucho más fácil de identificar a comparación de una falla de fase, esto debido al hecho de que en operación normal no existe corriente de secuencia cero fluyendo en el sistema.
- La sensibilidad de la protección de falla a tierra es mucho mejor a comparación con las fallas de fase.
- Es común que los motores se aterricen mediante resistencias de alto valor o en sistemas sin referencia a tierra.
- En algunos casos es mejor alarma cuando existen fallas a tierra en el motor y posterior a esto hacer un paro programado.
- En caso de disparar por fallas a tierra se debe de coordinar con elementos aguas arriba.

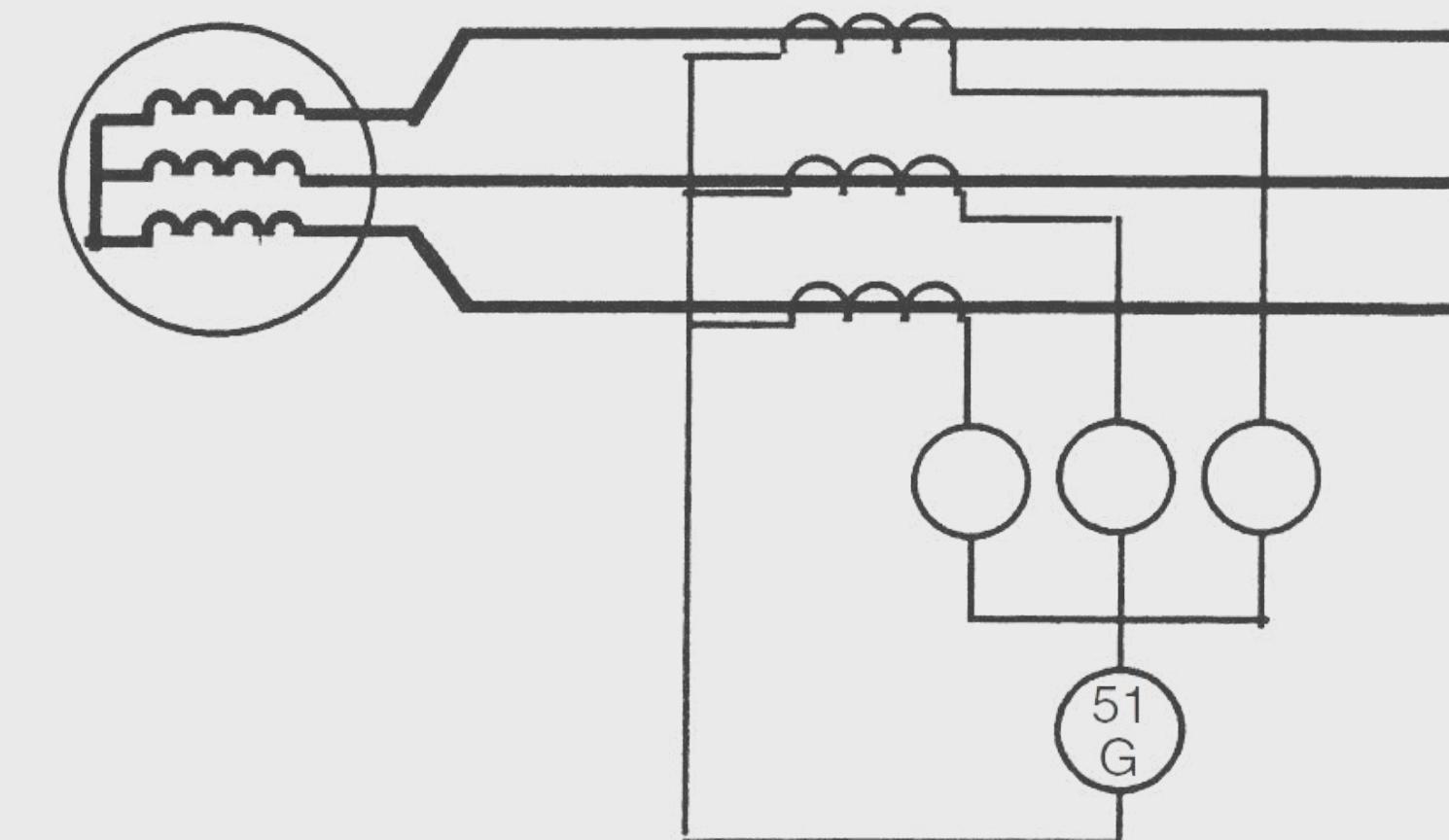
## 4.4 Fallas a tierra (50/51G, 50/51N)

- Para detectar fallas a tierra se pueden utilizar:

- TCs de secuencia cero
- Conexión residual de los TCs de fase
- Corriente residual calculada por el dispositivo de protección



Conecciones con TC de secuencia cero



Conexión residual con TCs de fase

## 4.4 Fallas a tierra (50/51G, 50/51N)

### Conexión residual

- En la conexión residual, cuando el motor arranca o aporta a una falla, las diferencias en cada TC individual de fase pueden llevar a una saturación desigual en cada TC, esto puede resultar en una operación en falso.
  - El ajuste de un elemento residual 51G para un motor va del 50% al 80% del ajuste del elemento de fase.

### TC de secuencia cero

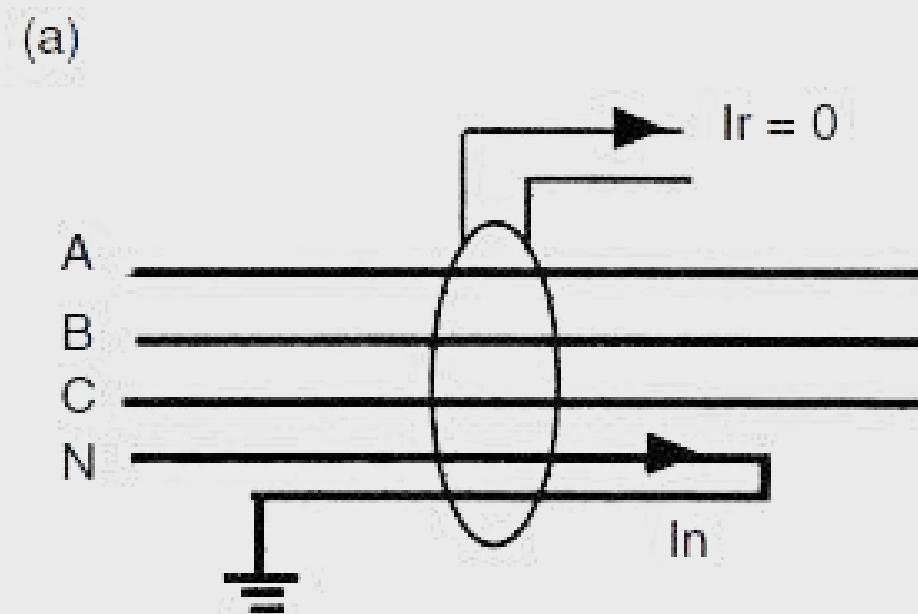
- Este esquema ofrece un disparo rápido ante fallas a tierra a bajo costo.
- El flujo individual de cada fase se cancela, esto nos permite tener ajustes muy sensibles.
- Este esquema no es viable en motores muy grandes porque los cables no podrían pasar por la ventana del TC.

# 4.4 Fallas a tierra (50/51G, 50/51N)

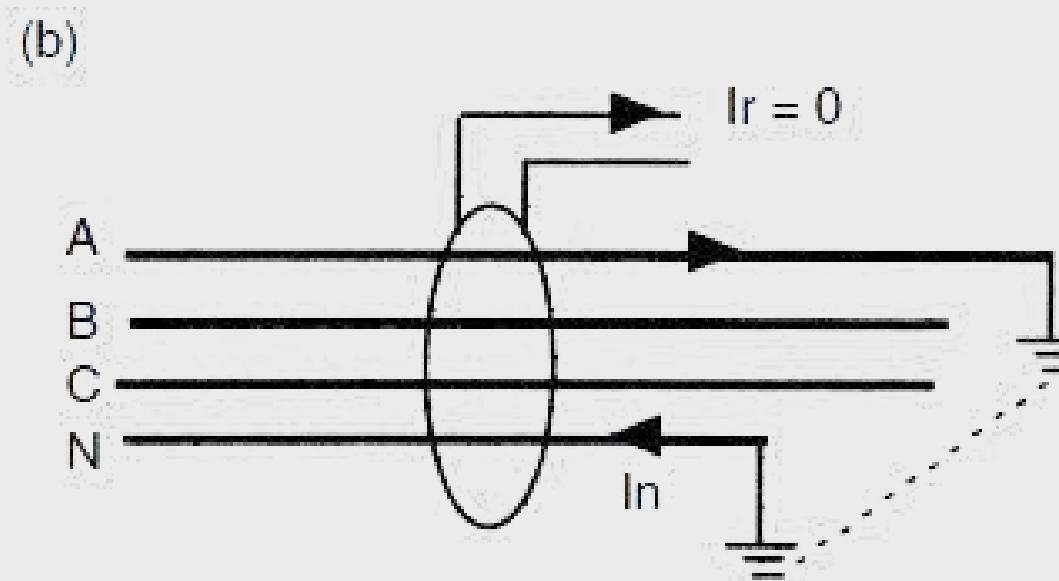
## TC de secuencia cero

- Los TCs tipo ventana tienen una clase de precisión muy baja (C10).
  - Para sistemas sólidamente aterrizados con TC de secuencia cero el arranque (pickup) típico es de 20% la corriente de falla mínima esperada en las terminales de la maquina.

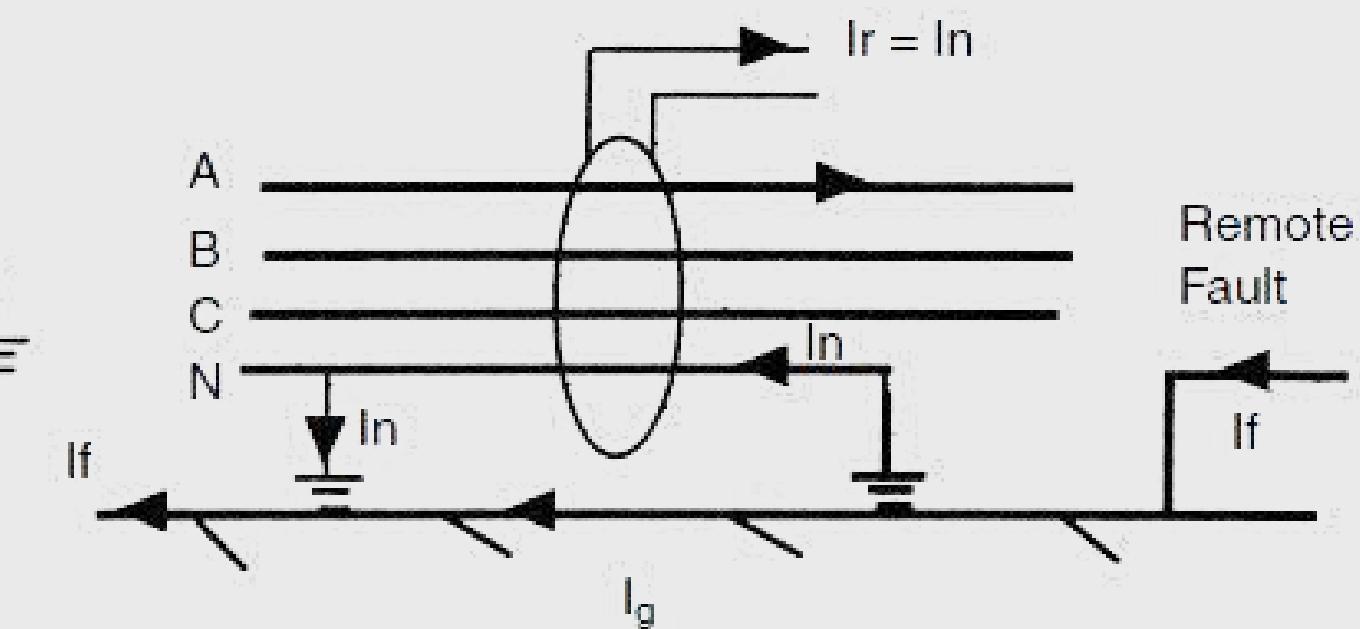
## Instalación de un TC tipo ventana



Instalación correcta



El relevador no va a operar si hay una falla



El relevador opera para una falla remota

## 4.5 Atascamiento de la carga (Mechanical Jam)

- El atascamiento ocurre después del arranque del motor, este atascamiento ocurre debido a problemas mecánicos.
- Algunos relevadores micro procesados pueden deshabilitar funciones durante el arranque y habilitarlos cuando el motor ya ha arrancado.
- Este elemento típicamente opera mucho más rápido que el elemento térmico 49.
- La protección por atascamiento debe de operar únicamente cuando el motor haya completado su etapa de aceleración. En caso de que el motor se encuentre acelerando. el elemento por sobrecarga debe de operar.
- La ventaja de este elemento es que se puede ajustar por debajo de la corriente de rotor bloqueado.
- Los ajustes típicos para este elemento de protección son de 1.5-3 veces la corriente de rotor bloqueado y el retardo es de 2-5 segundos.

# **4.6 Inversión de fases y desbalance (47,46)**

## **Inversión de fases (47)**

- La inversión de fases puede dañar al motor o a la carga ya que esto invierte el sentido de rotación, usualmente los motores de inducción se utilizan en ventiladores diseñados para hacer circular el aire en una dirección específica.
- La protección de inversión de fases esta disponible en la mayoría de los relevadores micro procesados. Usualmente este ajuste se define como habilitado o deshabilitado.

## **Desbalance (46)**

- Existen 4 factores importantes que causan desbalance en la tensión de alimentación:
  - Cargas monofásicas en la red que alimenta al motor
  - Voltaje primario desbalanceado
  - Uso de transformadores Delta - Estrella
  - Transformadores defectuosos

## 4.6 Inversión de fases y desbalance (47,46)

### Desbalance (46)

- Un desbalance en la tensión puede ocasionar un desbalance de corriente del orden de 6 a 10 veces del desbalance de tensión.
- Altos niveles de desbalance de corriente provocan calentamiento, perdida de torque en el arranque o disparos en falso debido a sobrecargas .
- Generalmente el fabricante del motor tiene guías para el ajuste del elemento de desbalance. En caso de que los parámetros del fabricante no estén disponibles se puede considera como apropiado el criterio de arranque (pickup) del 15-25% y retardo de 5-10 segundos.
- No todos los relevadores utilizan el mismo método de detección de desbalance, algunos utilizan secuencia negativa contra secuencia positiva, mientras que otros dispositivos utilizan la máxima desviación de corriente con base al promedio.
- Se debe de tener especial cuidado con la polaridad de los TCs.

## 4.6 Inversión de fases y desbalance (47,46)

### Desbalance (46)

- El porcentaje de desbalance de tensión viene dado por la formula:

$$\%V_u = \frac{100 \times V_{maxdev}}{V_{avg}}$$

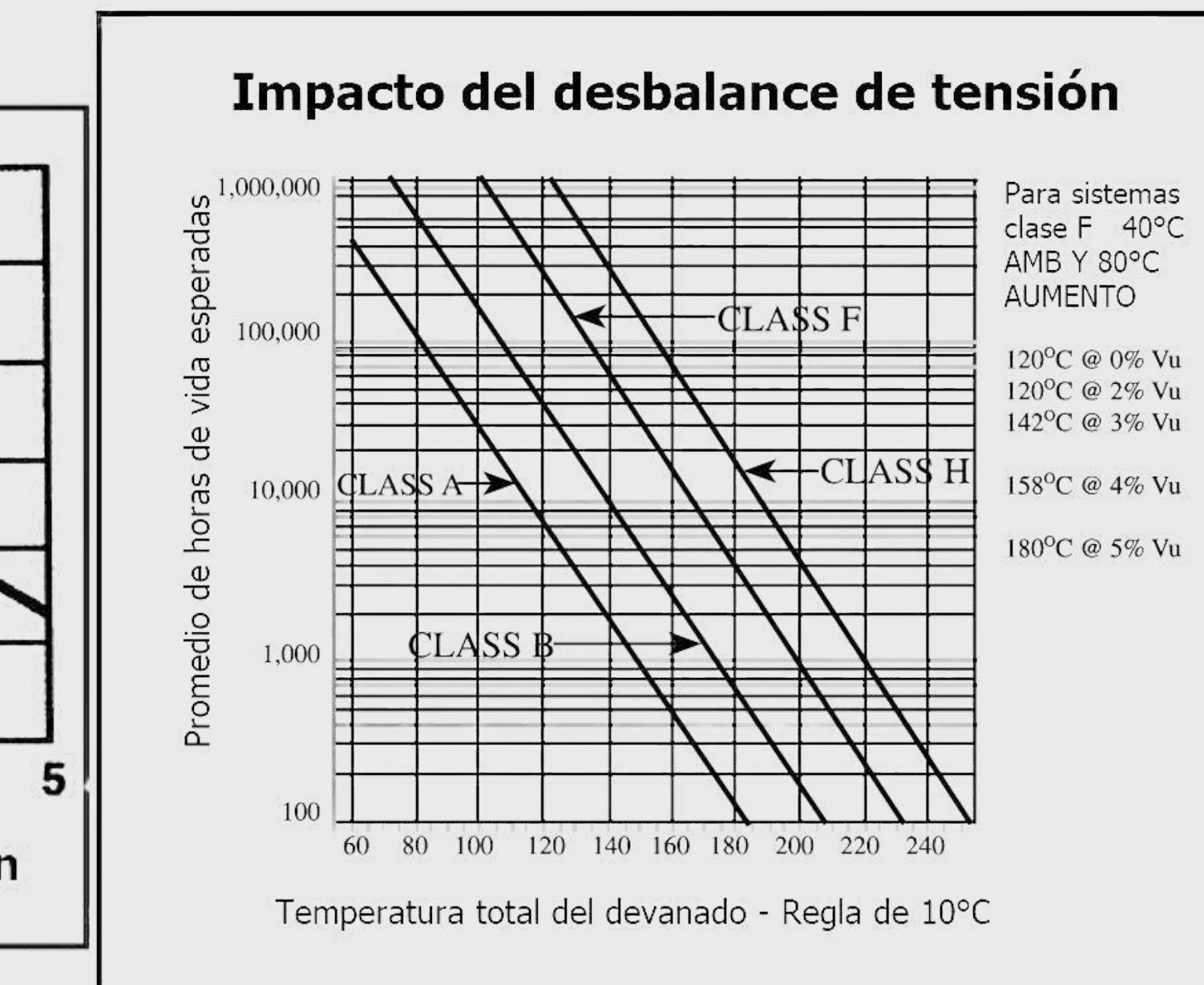
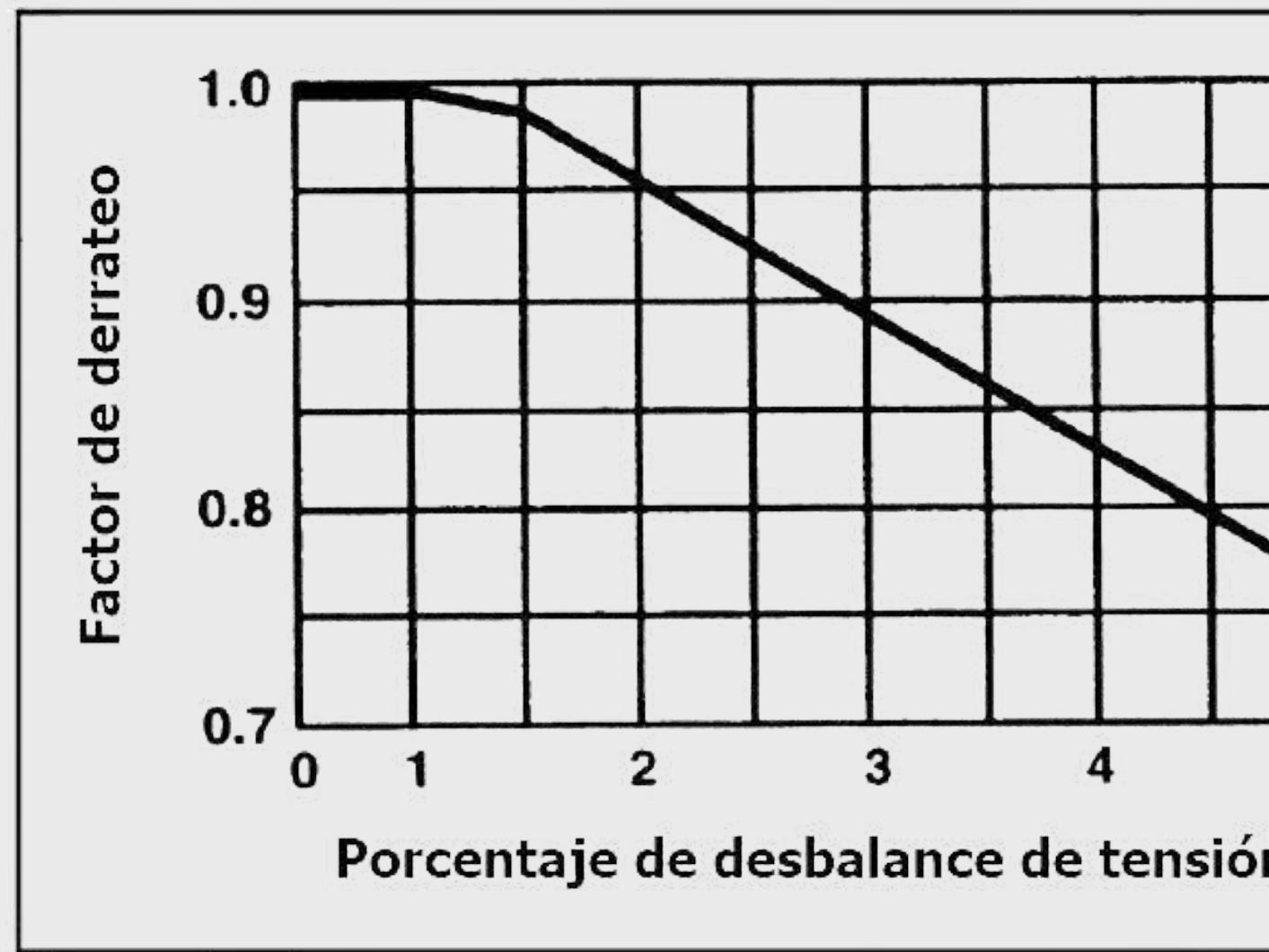
- Por ejemplo, tenemos un sistema de alimentación con las tensiones L1 = 220V, L2=215V y L3=210V :
  - El promedio es  $(220+215+210)/3 = 215V$
  - La desviación máxima del promedio es 5

$$\%V_u = \frac{100 \times 5}{215} = 2.3\%$$

# 4.6 Inversión de fases y desbalance (47,46)

## Desbalance (46)

- Si existe desbalance, la potencia (H.P) del motor debe de multiplicarse por un factor de derateo para reducir la posibilidad de que el motor se dañe.



No se recomienda la operación de un motor con un desbalance de tensión arriba del 5%.

## 4.7 Bajo voltaje (27)

- Los motores son equipos de potencia constante, debido a esto si el voltaje de alimentación disminuye, la corriente subirá para asegurar la misma potencia de salida en la flecha.
- La mayoría de los motores están diseñados para operar entre +10% o -10% de su tensión nominal.
- En caso de que los parámetros del motor sean conocidos y el modelo térmico sea el adecuado, la protección de bajo voltaje puede no ser necesaria.
- Esta función puede agregar seguridad al motor y al personal, ya que puede evitar un re arranque, en caso de una perdida total de tensión en el motor.
- Según el estándar IEEE 399 la caída de tensión durante el arranque no debe de ser mayor al 20%, esto es, asegurar 80% de la tensión en terminales del motor.
- Utilizando lo anterior como referencia el disparo por bajo voltaje puede ser ajustado para operar entre el 70-90% del voltaje nominal con 3-5 segundos de retardo.

## 4.8 Perdida de carga (37)

- En muchas aplicaciones es deseable desconectar el motor de la alimentación cuando la carga experimenta problemas.
- Cuando existe una perdida de carga repentina, la corriente del motor disminuye y no es que el motor se encuentre en riesgo, sino que la carga ha experimentado problemas.
- La idea de este elemento es simple, después de que el motor arranca, este debería estar girando con carga, si el motor pierde carga, la corriente disminuye a corriente de vacío y el motor debe de dispararse.

### Ejemplo:

- En el caso de una bomba que empieza a quedarse sin agua debido a un bloqueo en la corriente de agua, esto puede ocasionar cavitación, destruyendo rápidamente la bomba.
- Es deseable detectar esta situación y desconectar el motor antes de que la bomba se dañe.

## 5. Protección del motor síncrono

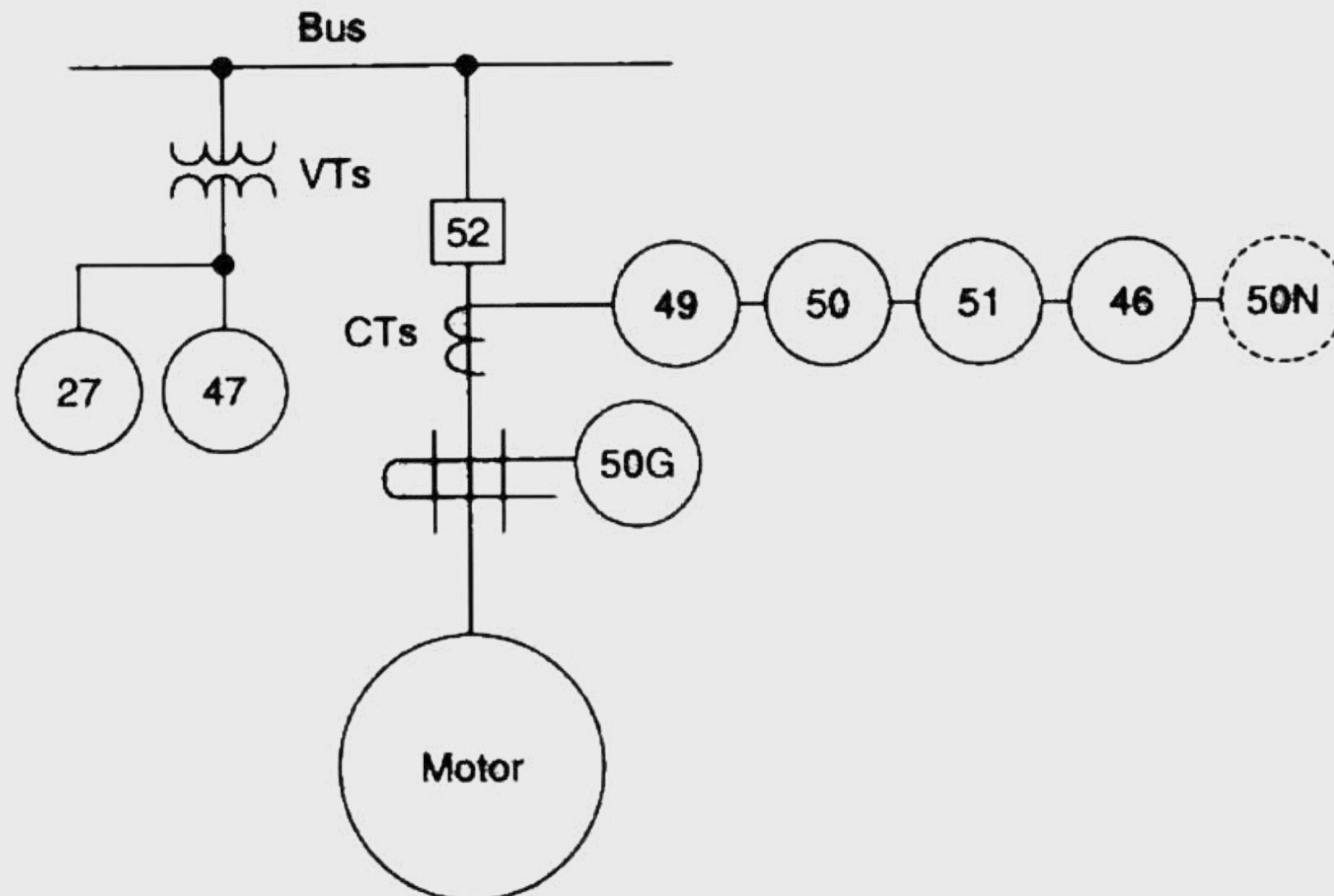
- Las protecciones discutidas en anterioridad para la protección del motor de inducción es aplicable también para motores síncronos, con protección adicional para el campo y para la operación asíncrona.
- Estos motores usualmente incluyen control y protección para el arranque, aplicación de campo, y sincronización.
- La reducción o perdida de excitación requiere potencia reactiva desde el sistema de potencia.
- Para unidades pequeñas, es recomendado un relevador de factor de potencia (55). Este relevador opera cuando la corriente dentro del motor se atrasa mas de 30°
- Para motores síncronos grandes, se recomiendan los relevadores de distancia de pérdida de campo. Esto proporciona una protección mejorada para pérdidas de campo.
- Protección de fuera de paso (Out of step) puede o no ser requerida, dependiendo del sistema y del motor.

## 5. Protección del motor síncrono

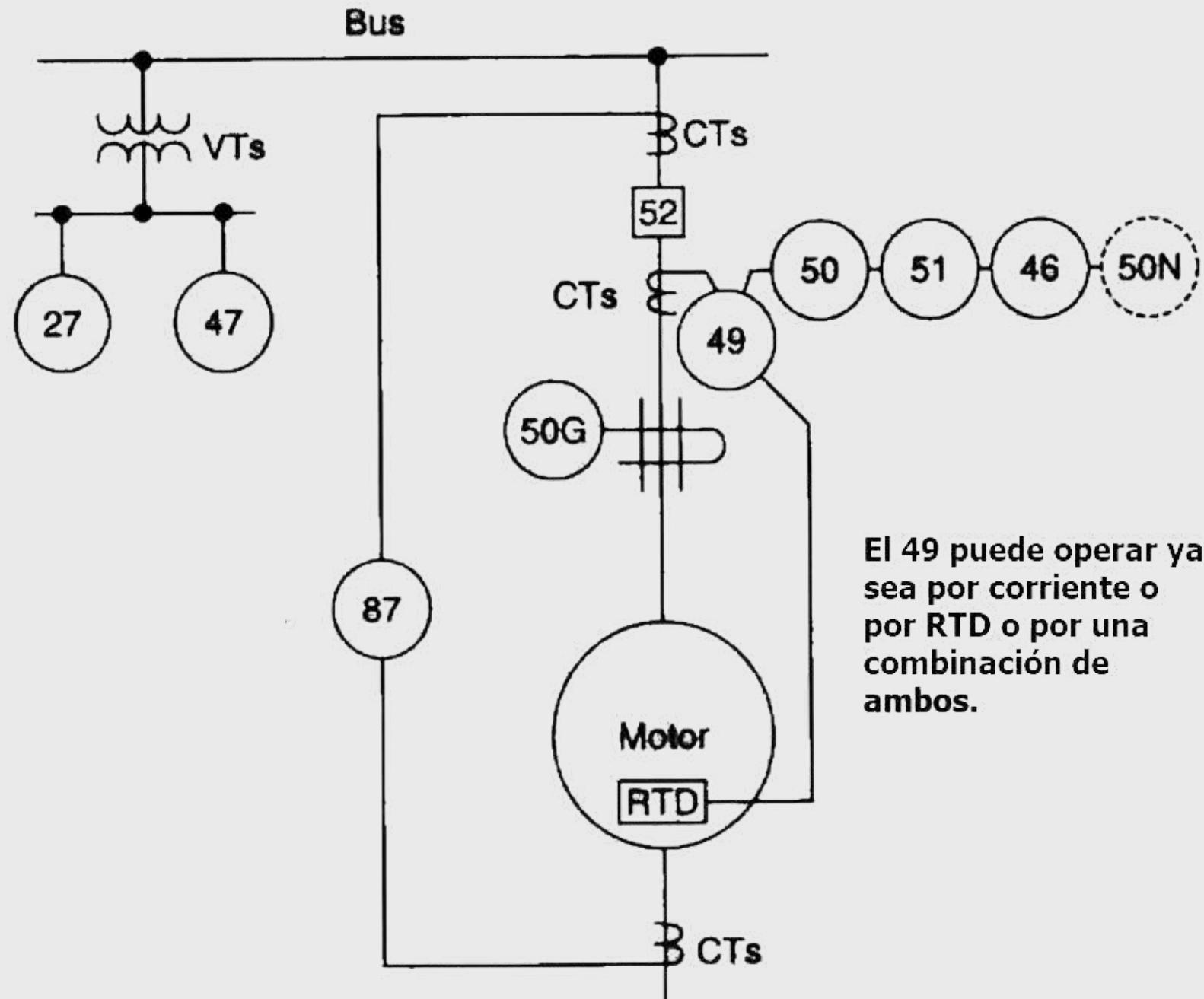
- Si el motor se encuentra sincronizado, solo existe voltaje de CD en los devanados de excitación.
- Cuando caídas fuera de paso debido a disturbios del sistema o perdidas de campo, aparece voltaje de CA, esto puede ser utilizado para detectar estas condiciones.
- Con los sistemas de excitación por escobillas, el relevador de factor de potencia proveerá ambas cosas, protección para el arranque y por perdida de campo.

# 5. Protección del motor síncrono

Recomendaciones típicas para la protección del motor síncrono sin neutro ni RTDs disponibles.



Recomendaciones típicas para la protección del motor síncrono con neutro y con RTDs disponibles.



## 6. Arranques repetitivos y sobrecargas cíclicas

- Se consideran arranques repetitivos (jogging) cuando un motor es arrancado varias veces en poco tiempo.
- Arranques repetitivos pueden causar altas temperaturas en el motor.
- Motor en frio hace referencia a que los devanados del estator y del rotor se encuentran a temperatura ambiente.
- Motor en caliente hace referencia a que los devanados del estator y del rotor se encuentran a su temperatura nominal de operación.
- Los relevadores micro procesados monitorean el numero de arranques y también se puede ajustar el tiempo entre arranques.
- El elemento térmico de los relevadores micro procesados asegura que el motor no sea arrancado repetidamente si el motor no se ha enfriado lo suficiente.

## 6. Arranques repetitivos y sobrecargas cíclicas

- El estándar NEMA MG 1-12.54 nos ofrece una guía para definir el numero de arranques consecutivos en frio y en caliente de un motor.
- El estándar NEMA MG 1-12.54 no aplica para arranques repetitivos (ciclos de arranque-trabajo-paro-reposo), en estos casos el estándar NEMA 10 nos ofrece una guía para:
  - El tiempo mínimo que se requiere para que el motor se enfrié lo suficiente para permitir otro arranque.
  - Numero máximo de arranques por hora para minimizar el estrés en el devanado por arranques repetitivos.
  - Un promedio del número de arranques por hora en función de la inercia de la carga.

# 6. Arranques repetitivos y sobrecargas cíclicas

Donde:

- A = Numero máximo de arranques por hora.
- B = Producto máximo de arranques por hora dependiendo de la inercia de la carga.
- C = Tiempo mínimo en segundos de reposo o tiempo entre arranques.

Los arranques permitidos por hora tienen que ser menor que A o B dividido entre la inercia de la carga:

$$Arranques_{porhr} \leq A \leq \frac{B}{LoadWk^2}$$

Numero permitido de arranques y tiempo mínimo entre arranques para motores de diseño NEMA A y NEMA B

HP	2-Pole			4-Pole			6-Pole		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	15	1.2	75	30	5.8	38	34	15	33
1.5	12.9	1.8	76	25.7	8.6	38	29.1	23	34
2	11.5	2.4	77	23	11	39	26.1	30	35
3	9.9	3.5	80	19.8	17	40	22.4	44	36
5	8.1	5.7	83	16.3	27	42	18.4	71	37
7.5	7	8.3	88	13.9	37	44	15.8	104	39
10	5.4	16	100	12.5	50	45	14.2	137	41
15	4.8	21	110	10.7	75	50	12.1	200	44
20	4.4	26	115	8.8	99	55	10.9	262	48
25	4.4	26	115	8.8	122	58	10	324	51
30	4.1	31	120	8.2	144	65	9.3	384	53
40	3.7	40	130	7.4	189	65	8.4	503	57
50	3.4	49	145	6.8	232	72	7.7	620	64
60	3.2	58	170	6.3	275	85	7.2	735	75
75	2.9	71	180	5.8	338	90	6.6	904	79
100	2.6	92	210	5.2	441	110	5.9	1181	97
125	2.4	113	275	4.8	542	140	5.4	1452	120
150	2.2	142	320	4.5	640	160	5.1	1719	140
200	2	172	400	4.2	824	210	4.5	2238	190
250	1.8	210	1000	3.7	1017	500	4.2	2744	440

# 6. Arranques repetitivos y sobrecargas cíclicas

## Ejemplo:

Un motor de 20 HP, 2 polos, 3550 rpm, NEMA B, conectado mediante una banda a un soplador de 5000 rpm con una inercia de  $3.7 \text{ lb} \cdot (\text{ft})^2$ .

La carga referida a la flecha del motor es:

$$\left(\frac{5000}{3550}\right)^2 \times 3.7 = 7.34 \text{ lb} \times \text{ft}^2$$

De la tabla tenemos que:

- A = 4.4
- $B/(Wk^2) = 26/7.34 = 3.5$
- Tiempo mínimo de enfriamiento = C = 115 segundos

Número permitido de arranques y tiempo mínimo entre arranques para motores de diseño NEMA A y NEMA B

HP	2-Pole	2-Pole	2-Pole	4-Pole	4-Pole	4-Pole	6-Pole	6-Pole	6-Pole
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	4.8	21	110	10.7	75	50	12.1	200	44
20	4.4	26	115	8.8	99	55	10.9	262	48
25	4.4	26	115	8.8	122	58	10	324	51

- El valor de  $B/(Wk^2)$  es menor que el número máximo de arranques por hora.
- El motor debe ser limitado a 3.5 arranques por hora con un mínimo de tiempo entre arranques de 115 segundos.

# 6. Arranques repetitivos y sobrecargas cíclicas

## Ejemplo:

Un motor de 50 HP, 4 polos, NEMA B, conectado directamente a una bomba con una inercia de 20  $\text{lb}^*(\text{ft})^2$ .

De la tabla tenemos que:

- A = 6.8
- $B/(Wk^2) = 232/20=11.6$
- Tiempo mínimo de enfriamiento = C =72 segundos

Numero permitido de arranques y tiempo mínimo entre arranques para motores de diseño NEMA A y NEMA B

HP	2-Pole	2-Pole	2-Pole	4-Pole	4-Pole	4-Pole	6-Pole	6-Pole	6-Pole
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30	4.1	31	120	8.2	144	65	9.3	384	53
40	3.7	40	130	7.4	189	65	8.4	503	57
50	3.4	49	145	6.8	232	72	7.7	620	64
60	3.2	58	170	6.3	275	85	7.2	735	75
75	2.9	71	180	5.8	338	90	6.6	904	79

- El valor de  $B/(Wk^2)$  excede el numero máximo de arranques por hora.
- Se determina que el motor debe estar limitado a 6.8 arranques por hora con un tiempo mínimo de 72 segundos entre arranques.

## 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

- En años recientes las protecciones eléctricas basadas en micro procesadores se han convertido en un estándar para la protección de sistemas eléctricos, incluyendo motores.
- Los relevadores micro procesados proporcionan una protección completa y robusta para protección de motores. Estos equipos incluyen algoritmos térmicos y funciones de control.
- Los relevadores digitales no tienen sobre alcance como el relevador predecesor de disco.
- Los modelos térmicos de los relevadores digitales incluye mejoras tales como:
  - Separación de constantes de tiempo térmico de calentamiento y enfriamiento.
  - Calentamiento por desbalance
  - Entradas para RTDs

A continuación se presentaran los modelos térmicos de los relevadores SEL-710 y Siemens Siprotec 5 7SK85.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

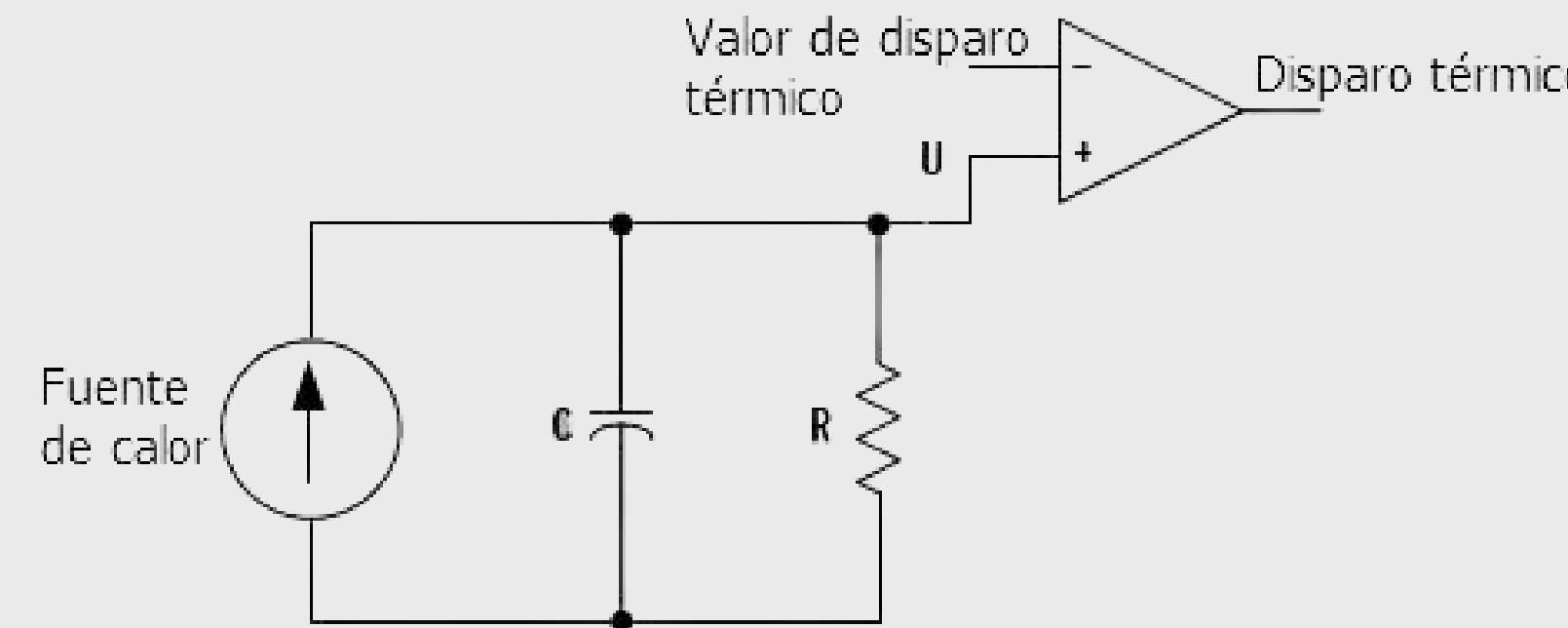
## Relevador de protección de motor SEL 710



# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Un sistema térmico se puede modelar mediante un circuito eléctrico simple. El elemento térmico del relevador S.E.L 710 incluye:
  - Una fuente de corriente la cual representa una fuente de calor.
  - Una capacitancia y resistencia térmica, modelada como un capacitor y una resistencia.
  - Un comparador para comparar el calor estimado “U” y el ajuste de disparo por temperatura.



# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

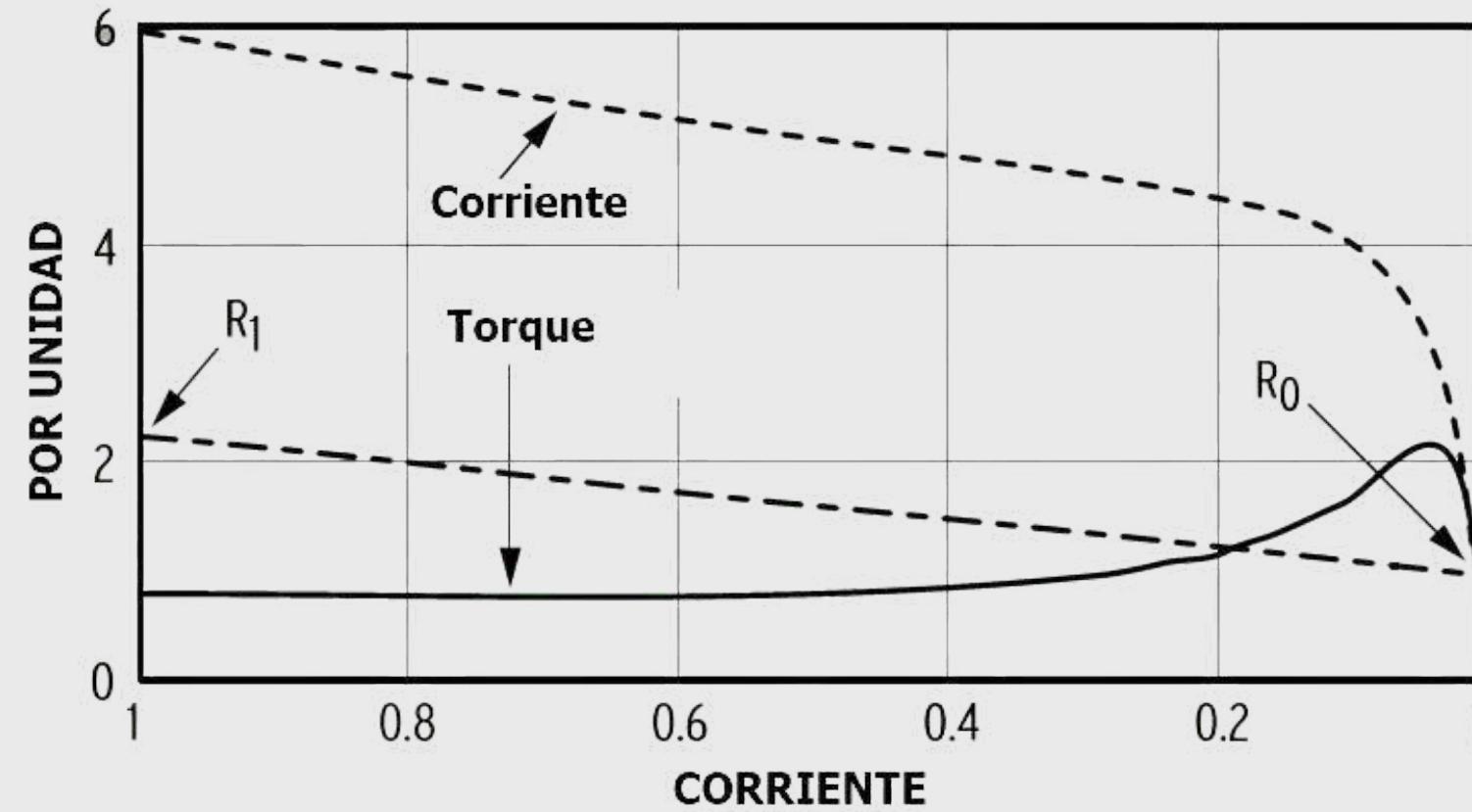
- Para definir el elemento térmico para un motor de inducción las características de cada componente de la diapositiva anterior deben de ser definidos.
- La siguiente ecuación muestra la fuente de calor del motor en función de corrientes de secuencia positiva y negativa:  
$$HeatSource = I_1^2 \times K_1 + I_2^2 \times K_2$$
- Donde K1 y K2 son factores de calentamiento definidos por la resistencia de secuencia positiva y negativa del rotor.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- La siguiente ecuación se utilizó para graficar la resistencia de secuencia positiva del rotor:

$$R = \left( \frac{Q_M}{I_1^2} \right) \times s$$



- La resistencia de secuencia positiva del rotor es una función lineal que depende del deslizamiento:

$$R_{r+} = (R_{1,s=1} - R_{1,s=0}) \times s + R_{1,s=0}$$

- Para tomar en cuenta los efectos de calentamiento debido a corrientes de secuencia negativa, se tiene que calcular la resistencia de secuencia negativa del rotor.

$$R_{r-} = (R_{1,s=1} - R_{1,s=0}) \times (2 - s) + R_{1,s=0}$$

- En ambos casos se utilizan resistencias de secuencia positiva pero el deslizamiento de secuencia negativa es igual a  $(2-s)$ .

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Considerando que la resistencia de rotor bloqueado es tres veces la resistencia del rotor cuando el motor esta girando:
  - El factor de secuencia positiva K1 cuando el motor esta girando es igual a 1 por unidad.
  - El factor de secuencia positiva K2 cuando el motor esta girando es igual a 5 por unidad
  - El valor de K1 y K2 es igual a 3 por unidad cuando el rotor esta bloqueado.
- La diferencia entre los factores de calentamiento de secuencia positiva y negativa nos indican que el elemento térmico debe de tener dos estados de funcionamiento, arrancando y corriendo.
  - Cuando la suma de las magnitudes de las corrientes de secuencia positiva y negativa es mayor a 2.5 veces FLA, el relevador detecta que el motor esta arrancando. Si es menor a 2.5 FLA el motor se encuentra en operación normal.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- El elemento térmico del SEL-710 provee protección para las siguientes condiciones de operación de un motor eléctrico:
  - Arranques
  - Sobrecarga
  - Calentamiento por desbalance de corriente / secuencia negativa
  - Arranques repetitivos
- El ajuste SETMETH nos permite seleccionar el algoritmo del elemento térmico, este ajuste en el SEL 710 nos ofrece las siguientes dos opciones:
  - Método térmico rating (SETMETH := Rating o Rating\_1).
  - Método térmico de curva (SETMETH := Curve).

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Características generales del método térmico rating (SETMETH := Rating o Rating\_1).
  - El relevador configura una curva térmica con base a los ajustes de FLA, SF, constante de tiempo de operación y corriente rotor bloqueado, tiempo en caliente de rotor bloqueado y factor de aceleración.
  - Cuando se utilizan los ajustes de deslizamiento a plena carga (FLS) y torque de rotor bloqueado (LRQ), el relevador utiliza un modelo térmico que es dependiente del deslizamiento durante el arranque.
  - Para aplicaciones con cargas de alta inercia, considere utilizar el modelo térmico dependiente el deslizamiento cuando FLS y LRQ son conocidos.
- Características generales del método térmico de curva (SETMETH := Curve).
  - El relevador ofrece 45 curvas estándar de límite térmico o también puedes crear una curva personalizada.

# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección de motor SEL 710**

- El relevador SEL 710 utiliza los modelos térmicos del rotor y del estator simultáneamente.
- Características particulares del método térmico rating:
  - Cuando se selecciona el ajuste de “Rating” el modelo del rotor genera un disparo a tiempos de rotor bloqueado en caliente, incluso si el motor se encuentra por debajo de la temperatura normal de operación.
  - El ajuste “Rating” es conservativo y adecuado para la mayoría de aplicaciones donde el tiempo de aceleración es mucho menor que el tiempo de rotor bloqueado en caliente.
  - Utilice el ajuste “Rating\_1” cuando el tiempo de aceleración es cercano al tiempo de rotor bloqueado en caliente.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Características particulares del método térmico rating:
  - Considere que el ajuste de tiempo de rotor bloqueado es para una condición de rotor en caliente.
  - Si solamente se cuenta con un tiempo de rotor bloqueado, asuma que es tiempo de rotor bloqueado en frio, multiplique este valor por 0.833 para determinar el tiempo de rotor bloqueado en caliente.

### NOTA:

- El SEL-710 utiliza la configuración de SF como el límite para el arranque de la sobrecarga.
- Para motores IEC y NEMA con un factor de servicio de 1,0, establezca el SF entre 1,05 y 1,2.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Ejemplo de calculo de ajustes con método térmico rating:
  - Motor de 4000V, 600 HP, FLA = 80A, LRA = 480A, Tiempo de rotor bloqueado en frio y en caliente, 18 y 15 segundos respectivamente, FS = 1.2, CTR = 100:5 = 20.

Ajuste	Valor de ajuste	Descripción
CTR1	20	Relación de transformación de los TCS de fase
FLA1	80	Corriente a plena carga
SF	1.2	Factor de servicio
LRA1	6*FLA	Corriente de rotor bloqueado (480/80)
LRTHOT1	15	Tiempo en caliente de rotor bloqueado
RTC1	Auto	Constante de tiempo de trabajo

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Ejemplo de calculo de ajustes con método térmico rating:
  - Para tener una optima protección por sobrecarga se recomienda que los ajustes RTC1 y RTC2 sean ajustados según los valores proporcionados por el fabricante del motor.
  - En caso de que los datos actuales de RTC (Run State Time Constant) no estén disponibles y el motor este limitado por la capacidad del rotor, se puede usar el ajuste “AUTO”.
  - Cuando se utiliza el ajuste “AUTO” el relevador utiliza la siguiente formula para calcular el RTC:

$$RTC = \frac{(TD + 0.2) \times LRTHOT}{60 \ln \left( \frac{LRA^2 - (0.9 \times SF^2)}{LRA^2 - SF^2} \right)} \text{ minutos}$$

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Ejemplo de calculo de ajustes con método térmico rating:
  - Para nuestro ejemplo anterior tenemos que RTC1 = 39 minutos
  - Tiempo de enfriamiento > 3\*RTC1 = 3\*39+1 = 118 minutos
  - En caso de que los datos de RTC no estén disponibles y el motor este limitado por la capacidad del estator, utilice la siguiente ecuación:

$$RTC = \frac{LRTHOT}{60 \ln \left( \frac{LRA^2 - (0.4^2)}{LRA^2 - SF^2} \right)} \text{ minutos}$$

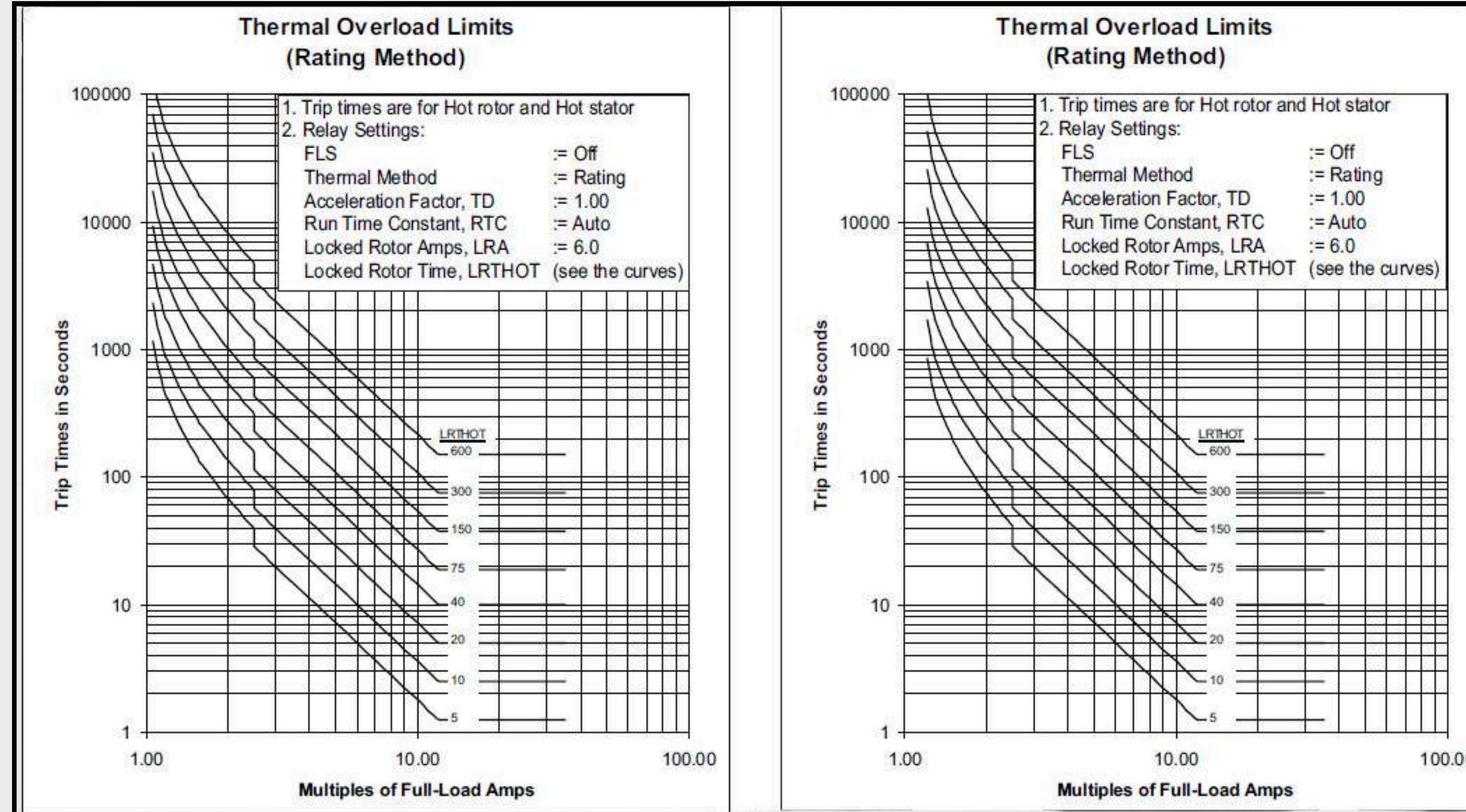
# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710

- Ejemplo de calculo de ajustes con método térmico rating:
  - El ajuste de factor de aceleración TD1 reduce o extiende el tiempo de aceleración permitido durante condiciones de rotor bloqueado. Este ajuste puede colocarse en 1.00 sin ningún problema.
  - Si se sabe que la arga siempre acelera en un tiempo menor al tiempo de rotor bloqueado, el ajuste de TD1 puede ser menor a 1.
  - En caso de que la carga sea de alta inercia se puede colocar TD1 arriba de 1, sin embargo, en esta condición es necesario utilizar un switch de velocidad o una protección para rotor bloqueado.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección de motor SEL 710



S.F = 1.01

SF = 1.15

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85



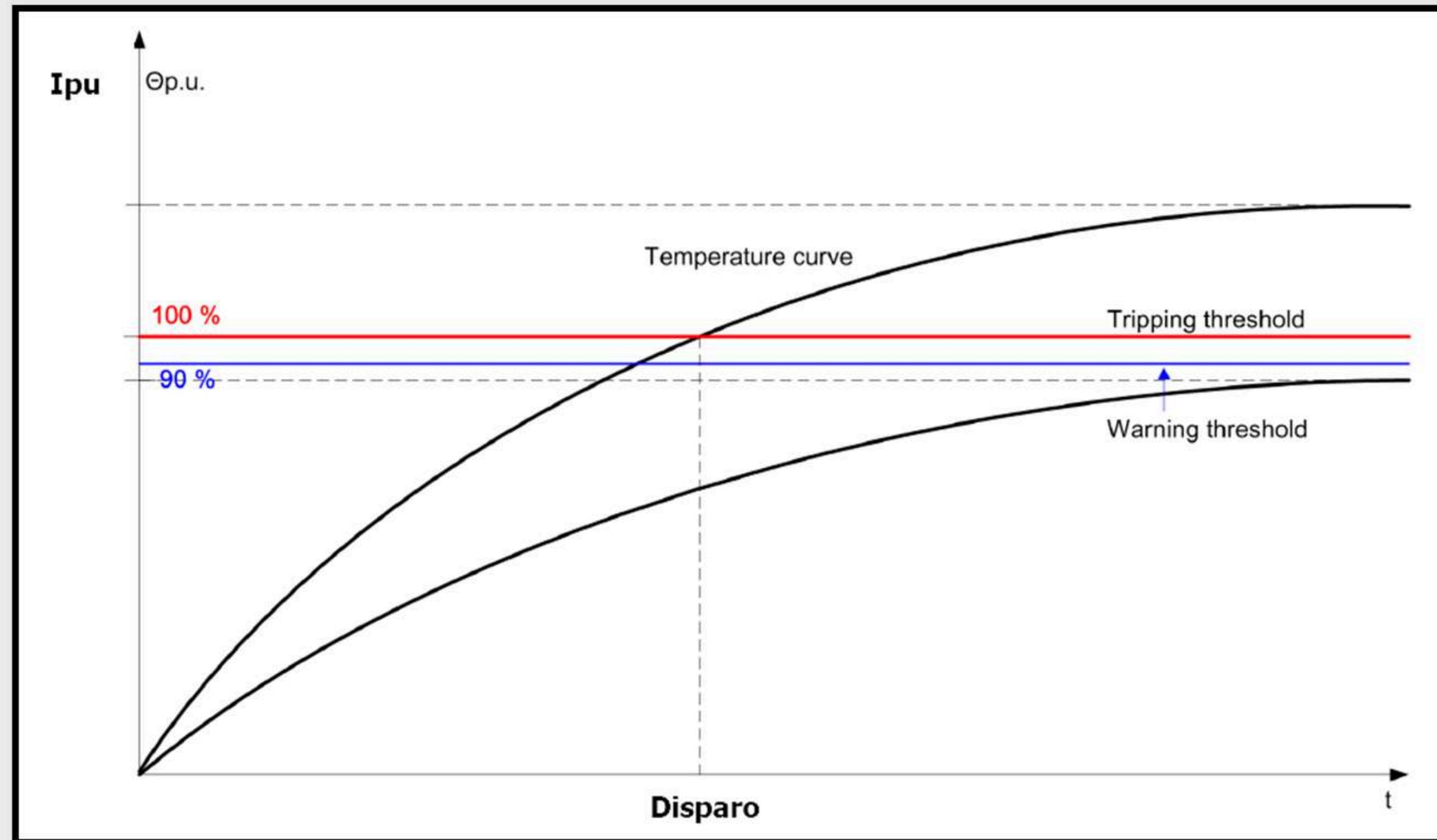
## **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

### **Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85**

- El cálculo de sobre temperatura es realizado tomando como base la medición de las corrientes de fase en un modelo térmico de ecuación única.
- La sobre temperatura es calculada de forma separada para cada fase, en el cual una indicación de 100% significa que el límite térmico ha sido alcanzado.
- Este modelo térmico utiliza la medición de corriente más alta de las 3 fases para el cálculo del modelo térmico.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Comportamiento del elemento térmico del relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

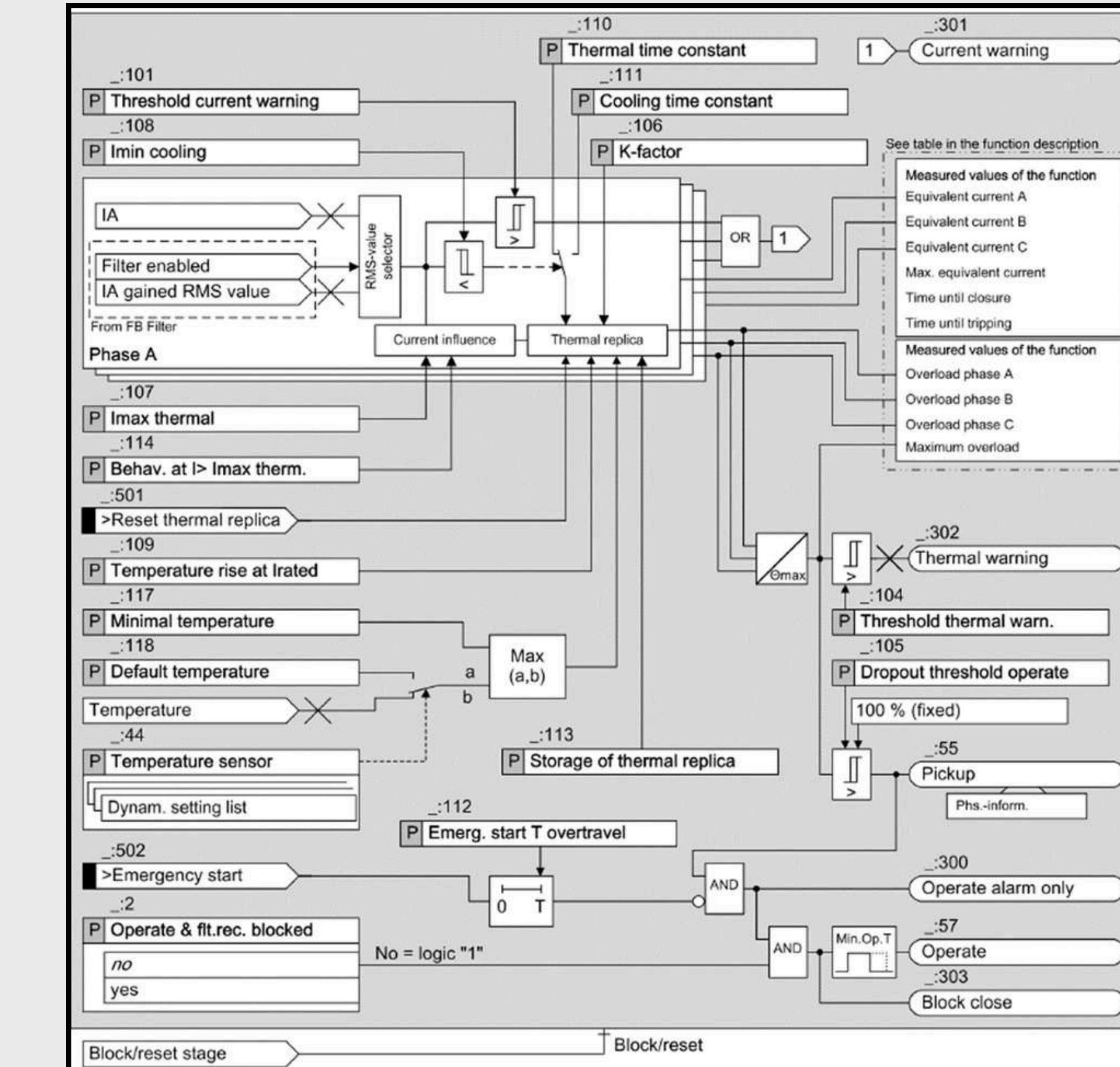


# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Diagrama lógico

Siemens Siprotec 5 7SK85

## Elemento de sobrecarga térmica



# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

- El tiempo de operación del elemento de protección para sobrecarga térmica se calcula de la siguiente manera:

$$t = \tau_{th} * \ln \left[ \frac{\left( \frac{I}{k * I_{nom}} \right)^2 - \left( \frac{I_{Pre-carga}}{k * I_{nom}} \right)^2}{\left( \frac{I}{k * I_{nom}} \right)^2 - 1} \right]$$

- Donde:
- T = Tiempo de operación.
- $\tau_{th}$  = Constante de Tiempo.
- I = Corriente de carga Medida
- $I_{pre-carga}$  = Corriente de precarga.
- $I_{nom}$  = Corriente nominal del motor.
- K = Factor K de acuerdo con IEC-60255-14

## **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

### **Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85**

- La ecuación anterior considera una referencia de temperatura ambiente de 40°C, por lo que al tener una temperatura de referencia menor, el límite térmico incrementa, cuando la temperatura de referencia es mayor, el límite térmico disminuye.
- Este modelo térmico considera la influencia de la corriente que fluye a través de los transformadores de corriente para distinguir entre corrientes de arranque y corrientes de cortocircuito, evitando de este modo una operación en falso del elemento térmico bajo estas condiciones.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

- Ejemplo de configuración del elemento térmico para un motor con las siguientes características :

Potencia Nominal	750 HP
Tensión Nominal	4,000 Volts
Corriente Nominal	98.9 Amperes
Corriente de Rotor Bloqueado	6.0 x FLA
Factor de Servicio	1.00
Elevación de Temperatura	75K
Contante de Calentamiento	80.5 Minutos
Constante de Enfriamiento	241.5 Minutos
Tiempo de rotor bloqueado 100%	20 Seg (Caliente) & 36 Seg (Frio)
Tiempo de rotor bloqueado 80%	31 Seg (Caliente) & 56 Seg (Frio)

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Factor K	Describe el máximo valor permitido de corriente de carga sin dañar el motor. Un criterio conservador para un motor Clase F sería 1.1 o en su defecto se puede emplear la siguiente formula: $K - Factor = \frac{I_{Maxima\ Permisible}}{I_{Nominal}}$	1.05
Ajuste de alarma de corriente “Threshold current Warning”	Máxima corriente de carga permisible.	103.84 A
Ajuste de alarma Térmica “Threshold thermal warning”	Ajuste de alarma para el elemento térmico: $\frac{\theta}{\theta_{diff}} = \frac{100\%}{k^2} = \frac{100\%}{1.05^2}$	91%

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Valor de reposición de alarma “Threshold thermal warning”	Ajuste para el cual se desactiva la alarma de capacidad térmica.	88%
Tiempo de arranque de emergencia en sobrecarga “Emergency start T Overtravel”	Este ajuste bloquea la protección de sobrecarga permitiendo al motor arrancar bajo una condición de emergencia. Este ajuste debe de ser lo suficientemente largo para permitir que la memoria térmica caiga por debajo del valor de reposición	14,490 Seg

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Constante de tiempo Térmico “Thermal Time Constant”	<p>Este parámetro es usado para especificar la característica de operación del estado de sobrecarga el cual puede ser obtenida de 3 maneras:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Es especificado por el fabricante.</li><li>2. Si el dato no es especificado por el fabricante, pero la curva de operación en frio está disponible, esta constante de tiempo puede ser deducida de ella utilizando un valor máximo de tiempo de operación de 1.5 veces la corriente nominal.</li><li>3. Usando la formula del cálculo de tiempo de operación a 1.5 veces la corriente nominal, despejando la constante <math>\tau_{th}</math> y considerando <math>I_{pre-carga}</math> en 0.</li></ol>	4,830 Seg

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

- Cálculo de la constante de tiempo térmica a 1.5 de la FLA.

$$t = \tau_{th} * \ln \left[ \frac{\left( \frac{I}{k * I_{nom}} \right)^2 - \left( \frac{I_{Pre-carga}}{k * I_{nom}} \right)^2}{\left( \frac{I}{k * I_{nom}} \right)^2 - 1} \right]$$

$$4,600 \text{ seg} = \tau_{th} * \ln \left[ \frac{2.04082}{1.04082} \right]$$

$$4,600 \text{ seg} = \tau_{th} * 0.67334$$

$$4,600 \text{ seg} = \tau_{th} * \ln \left[ \frac{\left( \frac{1.5}{1.05} \right)^2 - \left( \frac{0}{1.05} \right)^2}{\left( \frac{1.5}{1.05} \right)^2 - 1} \right]$$

$$\tau_{th} = \frac{4,600 \text{ seg}}{0.67334} = 6,831 \text{ seg (114 min)}$$

Dato del fabricante: 4,830 Seg (80.5 min)

$$4,600 \text{ seg} = \tau_{th} * \ln \left[ \frac{2.04082}{1.04082} \right]$$

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Constante de Tiempo de Enfriamiento “Cooling Time Constant”	Parámetro usado para definir la característica de enfriamiento de la caracteriza del modelo térmico.  Este parámetro es proporcionado por el fabricante, en caso de no tenerlo se podría emplear 7 veces la constante de tiempo térmico.  $\text{Cooling time Constant} = 7 * \text{Thermal time constant}$ $= 7 * 6,832 \text{ seg} = 47,817 \text{ seg (796 min)}$	14,490 Seg (241.5 min) Dato del fabricante
$I_{max}$ Térmica “ $I_{max}$ Thermal”	Ajuste máximo de corriente en el cual será empleado el modelo térmico.	346.15 A (3.5 x FLA)
$I_{min}$ Enfriamiento “ $I_{min}$ Cooling”	Ajuste mínimo de corriente en el cual la constante térmica $\tau$ cambia a la constante de tiempo de enfriamiento.  Este ajuste usualmente se encuentra del 5% al 10% de la corriente nominal del motor.	9.89 A (0.10 x FLA)

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Temperatura Máxima a corriente nominal  “Temperature rise at $I_{rated}$ ”	<p>Temperatura máxima permisible en corriente nominal.</p> <p>Este parámetro solo se considera si la temperatura es diferente de 40°C o si se utiliza un sensor de medición de temperatura, usualmente esta temperatura es expresada en grados kelvin (K).</p> <p>Estas temperaturas se expresan en el expediente del motor como un dato de temperatura de operación y la máxima temperatura de operación normal en la clase de aislamiento. Para un motor que opera de manera continua a corriente nominal su temperatura máxima de operación sería 70K.</p>	75K

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Comportamiento para corrientes mayores de la corriente máxima térmica. “Behav. At > Imax Thermal”	<p>Esta función previene un disparo prematuro de la protección de sobrecarga térmica para corrientes de cortocircuito.</p> <p>Debido a que una sobrecorriente ocurre durante el arranque del motor este provoca cierto calentamiento en el devanado del estator, por lo que es recomendable limitar la corriente para estas máquinas con alguna de las siguientes opciones:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Limitando la corriente (Current Limiting) La corriente del modelo térmico se limita de acuerdo con el ajuste de “I<sub>max</sub> Termica”.</li><li>1. Congelamiento de la réplica térmica (Freeze therm. Rep.) Si la corriente supera el ajuste de “I<sub>max</sub> Termica” el modelo térmico es “congelado” para prevenir un disparo del elemento térmico. Este parámetro es muy compatible con equipos más viejos.</li></ol>	Corriente Limitada (Current Limiting)

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección Siemens Siprotec 5 7SK85

Ajuste	Descripción de acuerdo con el manual	Ejemplo
Sensor de Temperatura “Temperature Sensor”	Permite seleccionar un sensor de temperatura para el registro de la temperatura ambiente y utilizarla para consideración del modelo térmico.	None
Temperatura por defecto “Default Temperature”	Temperatura ambiente.	40°C
Mínima temperatura” “Minimal Temperature”	Mínima temperatura ambiente de operación	-10°C

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

Relevador de protección General Electric 369



# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

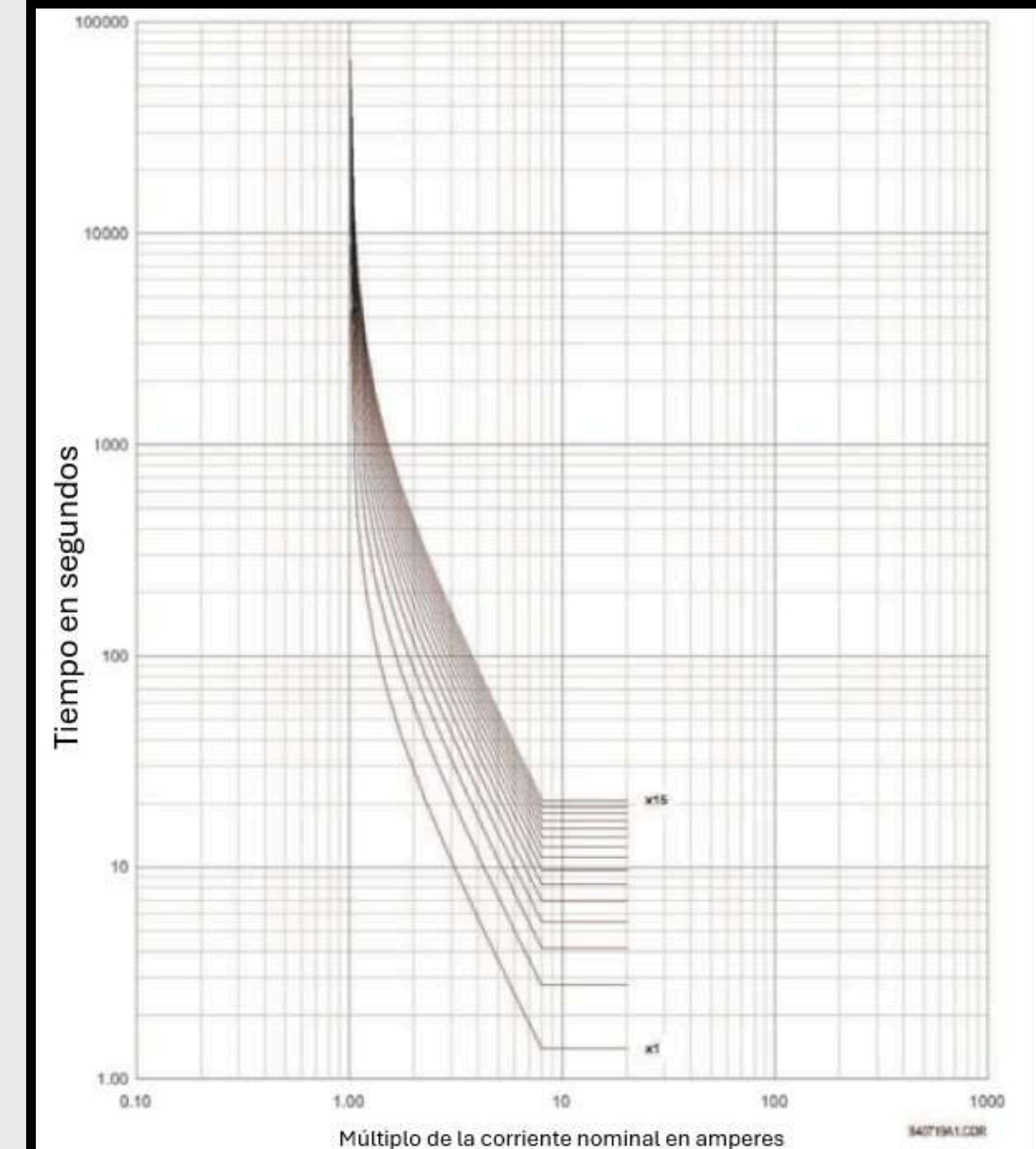
## **Relevador de protección General Electric 369**

- **El elemento de sobrecarga consta principalmente de 5 parámetros:**
  - Curva de sobrecarga y Pick-Up.
  - Desbalance
  - Constante de enfriamiento del motor.
  - Temperatura basada en la temperatura del motor en caliente y frio.
  - Medición de temperatura del estator con RTDs
- El modelo térmico de este relevador considera una curva de sobrecarga que siempre se encuentra activa en todos los estados del motor, esta curva esta basada en tres condiciones de operación del motor, rotor bloqueado, aceleración y motor girando.
- El arranque (pickup) típicamente se ajusta igual que el factor de servicio del motor.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

- La curva en caliente del motor se define bajo la condición de que el motor ya ha sido arrancado y se encuentre a su temperatura nominal del operación.
- La curva en frio se define con la condición de que los devanados del motor se encuentren a temperatura ambiente.
- La curva de operación deberá de ser seleccionada ligeramente por debajo de los límites térmicos indicados por el fabricante del motor
- El relevador GE 369 ofrece 15 curvas diferentes basadas en límites térmicos típicos .



## 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

### Relevador de protección General Electric 369

- El tiempo de disparo para una determinada curva se sobrecarga se calcula de la siguiente manera:

$$Tiempo\ de\ Disparo = \frac{Multiplicador\ de\ curva * 2.2116623}{(0.02530337 * (PickUp - 1)^2) + (0.05054758 * (PickUp - 1))}$$

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

PICKUP LEVEL (x FLA)	STANDARD CURVE MULTIPLIERS														
	x 1	x 2	x 3	x 4	x 5	x 6	x 7	x 8	x 9	x 10	x 11	x 12	x 13	x 14	x 15
1.01	4353.6	8707.2	13061	17414	21768	26122	30475	34829	39183	43536	47890	52243	56597	60951	65304
1.05	853.71	1707.4	2561.1	3414.9	4268.6	5122.3	5976.0	6829.7	7683.4	8537.1	9390.8	10245	11098	11952	12806
1.10	416.68	833.36	1250.0	1666.7	2083.4	2500.1	2916.8	3333.5	3750.1	4166.8	4583.5	5000.2	5416.9	5833.6	6250.2
1.20	198.86	397.72	596.58	795.44	994.30	1193.2	1392.0	1590.9	1789.7	1988.6	2187.5	2386.3	2585.2	2784.1	2982.9
1.30	126.80	253.61	380.41	507.22	634.02	760.82	887.63	1014.4	1141.2	1268.0	1394.8	1521.6	1648.5	1775.3	1902.1
1.40	91.14	182.27	273.41	364.55	455.68	546.82	637.96	729.09	820.23	911.37	1002.5	1093.6	1184.8	1275.9	1367.0
1.50	69.99	139.98	209.97	279.96	349.95	419.94	489.93	559.92	629.91	699.90	769.89	839.88	909.87	979.86	1049.9
1.75	42.41	84.83	127.24	169.66	212.07	254.49	296.90	339.32	381.73	392.15	466.56	508.98	551.39	593.81	636.22
2.00	29.16	58.32	87.47	116.63	145.79	174.95	204.11	233.26	262.42	291.58	320.74	349.90	379.05	408.21	437.37
2.25	21.53	43.06	64.59	86.12	107.65	129.18	150.72	172.25	193.78	215.31	236.84	258.37	279.90	301.43	322.96
2.50	16.66	33.32	49.98	66.64	83.30	99.96	116.62	133.28	149.94	166.60	183.26	199.92	216.58	233.24	249.90
2.75	13.33	26.65	39.98	53.31	66.64	79.96	93.29	106.62	119.95	133.27	146.60	159.93	173.25	186.58	199.91
3.00	10.93	21.86	32.80	43.73	54.66	65.59	76.52	87.46	98.39	109.32	120.25	131.19	142.12	153.05	163.98
3.25	9.15	18.29	27.44	36.58	45.73	54.87	64.02	73.16	82.31	91.46	100.60	109.75	118.89	128.04	137.18
3.50	7.77	15.55	23.32	31.09	38.87	46.64	54.41	62.19	69.96	77.73	85.51	93.28	101.05	108.83	116.60

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

- En el relevador GE 369 la corriente equivalente debido al desbalance se calcula de la siguiente manera:

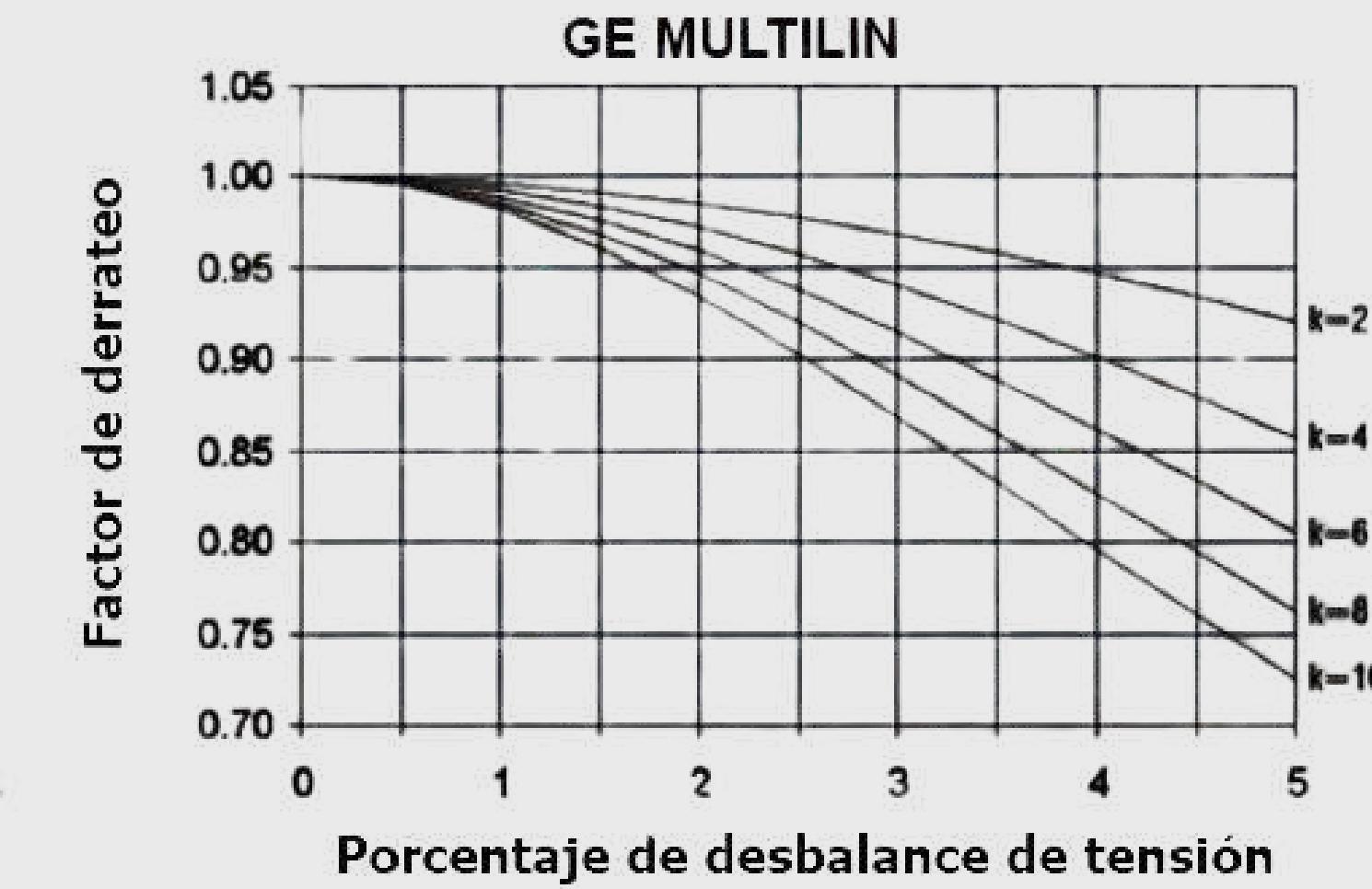
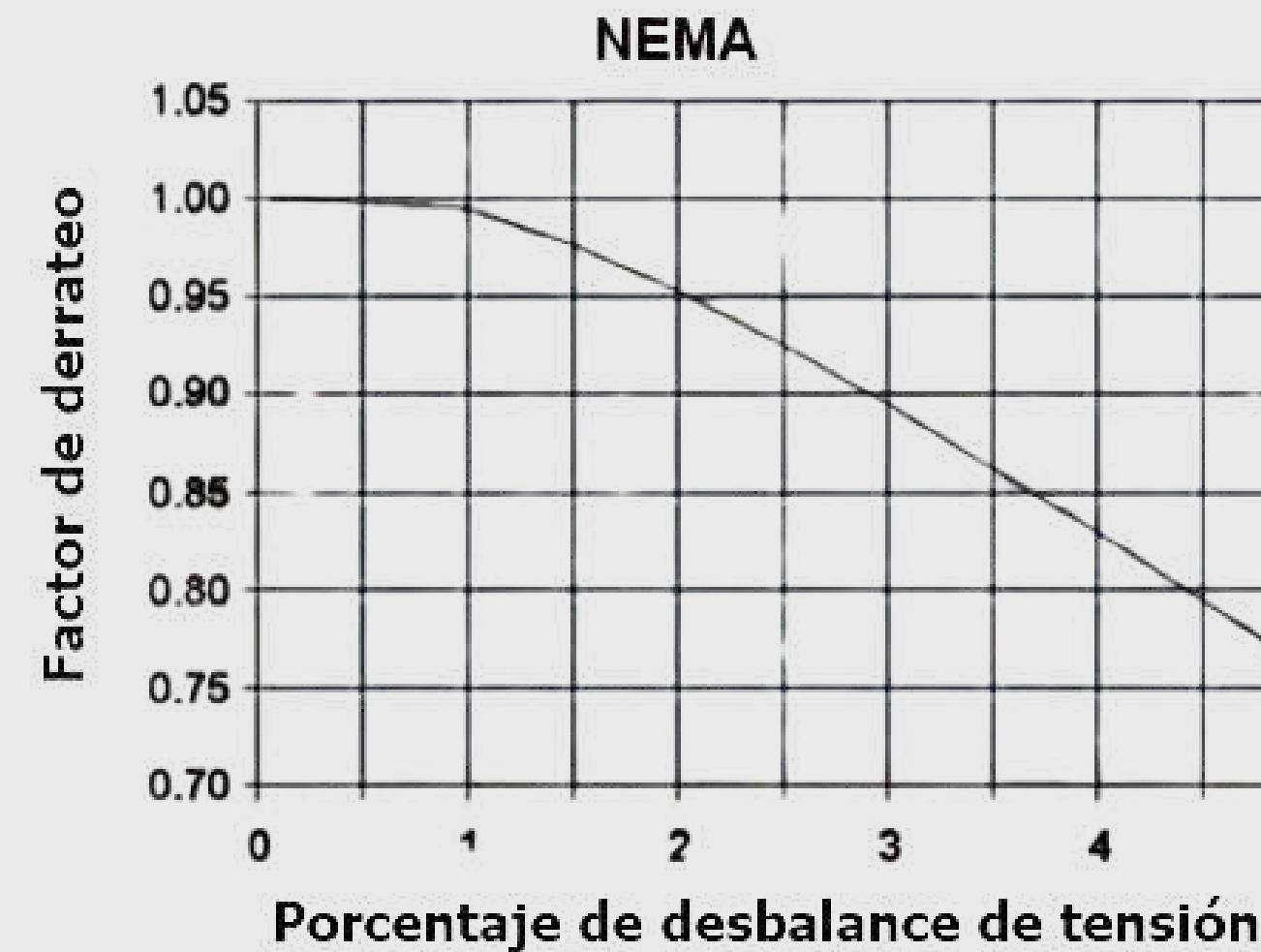
$$I_{eq} = \frac{I_{prom} * \sqrt{1 + k * (Desbalance\%)^2}}{FLA}$$

- Donde:
- $I_{eq}$  = Corriente de desbalance equivalente
- $I_{prom}$  = Corriente de fase RMS promedio medida
- $Desbalance\%$  = Porcentaje de desbalance medido
- $K$  = Factor de desbalance

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

- La siguiente imagen muestra el factor de derrateo de un motor para diferentes valores de la constante K debido a un desbalance de voltaje.



# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

- Si se ingresa un valor de  $k=0$ , la curva de sobrecarga se sincronizará con la corriente medida del motor en p.u.
- El factor K puede ser calculado de la siguiente manera:

$$K = \frac{175}{I_{LR}^2}; \text{Ecuación típica}$$

$$K = \frac{230}{I_{LR}^2}; \text{Ecuación conservativa}$$

## 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

### Relevador de protección General Electric 369

- El relevador GE 369 cuenta con la opción de calcular automáticamente el factor K después de contar con un registro de los últimos 5 arranques exitosos del motor y aplicando la siguiente fórmula:

$$K = \frac{175}{\left(\frac{I_{LSC}}{FLA}\right)^2}$$

$I_{LSC}$  = Corriente de arranque registrada

$FLA$  = Corriente nominal del motor

# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

- Las constantes de enfriamiento deben de ser ingresadas para ambos casos, detenido y en operación.
- Un motor detenido se va a enfriar significativamente más lento que un motor en funcionamiento.
- La constante de tiempo de enfriamiento es 1/5 del tiempo total de enfriamiento desde el 100% de capacidad térmica hasta el 0%.
- El relevador GE 369 puede estimar las constantes de tiempo de enfriamiento.
- El calculo de las constantes de tiempo se realiza cuando el motor pasa del estado de arranque al estado estable o del estado estable a detenido.
- Los tiempos de enfriamiento que el relevador calcula y guarda son con base al cambio de temperatura del RTD de mayor temperatura. El motor debe de haber sido arrancado y detenido por al menos 5 veces para poder utilizar los valores calculados por el relevador.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

- Los valores calculados y guardados en el relevador deben ser usados solamente cuando la información del fabricante no se encuentra disponible.
- La formula para el cálculo de la constante de enfriamiento es:

$$TC_{usada} = (TC_{usada\_inicio} - TC_{usada\_final}) * (e^{-t/\tau}) + TC_{usada\_final}$$

- $TC_{usada}$  = Capacidad térmica usada
- $TC_{usada\_inicio}$  = Capacidad térmica usada debido a una condición de sobrecarga
- $TC_{usada\_final}$  = Valor de capacidad térmica definido por la curva  $\frac{\text{caliente}}{\text{frio}}$  con el motor detenido
- $t$  = tiempo en minutos
- $\tau$  = constante de tiempo de enfriamiento (detenido o en funcionamiento)

## 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

### Relevador de protección General Electric 369

- El fabricante del motor algunas veces proporciona los límites térmicos en caliente y en frío para el motor. El modelo térmico del relevador GE 369 se adapta a estas condiciones si estos valores son ajustados.
- El valor ajustado en el setpoint Hot/Cold Curve Ratio dictamina el nivel de capacidad térmica usada cuando el nivel de corriente permanece debajo del nivel de pick-up del elemento de sobrecarga.

$$TC_{usada\ final} = I_{eq} * \left( 1 - \frac{caliente}{frio} \right) * 100\%$$

- $I_{eq}$  = Corriente de calentamiento equivalente.
- hot/cold = setpoint de relación entre curvas frío/caliente del motor.

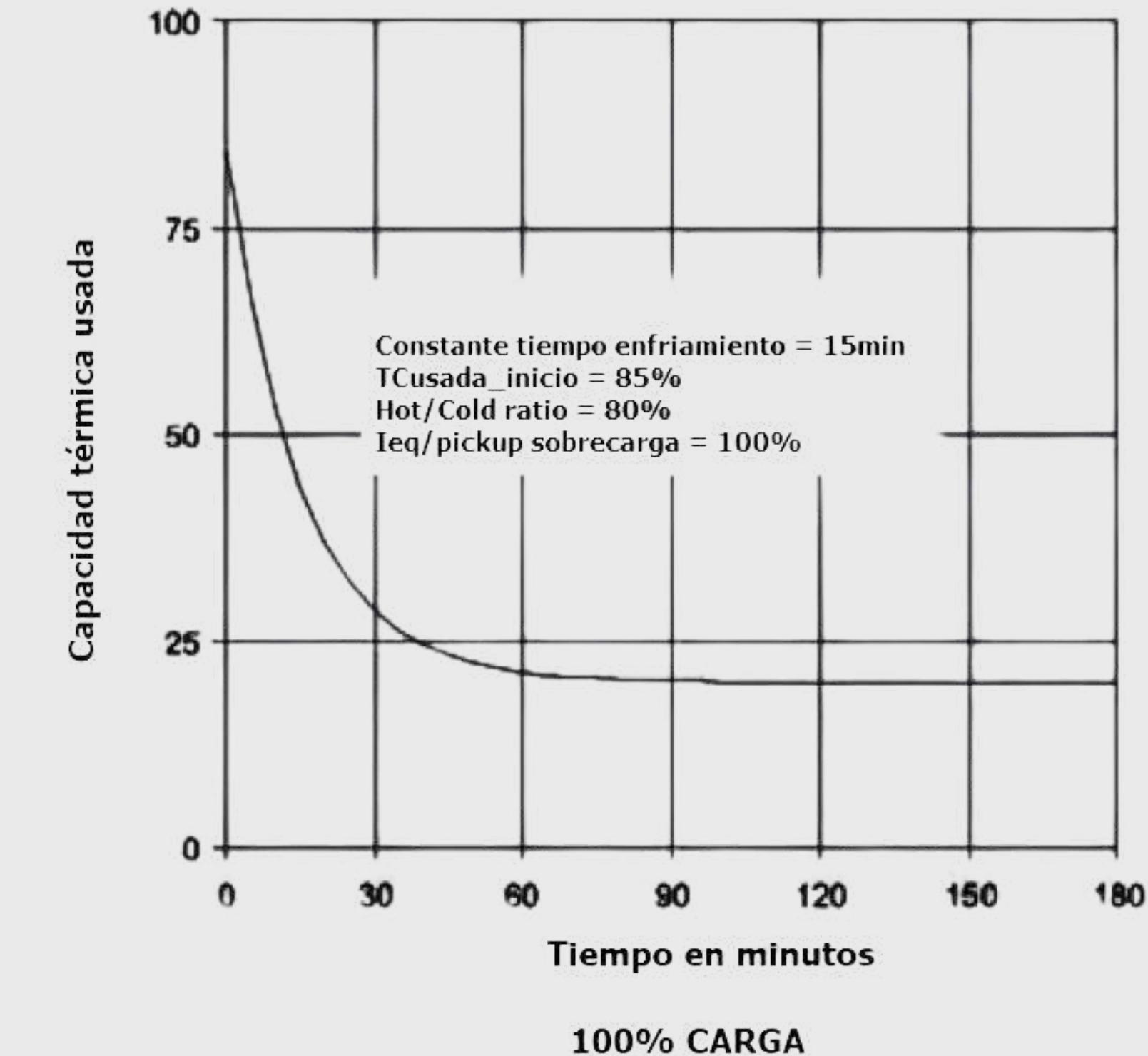
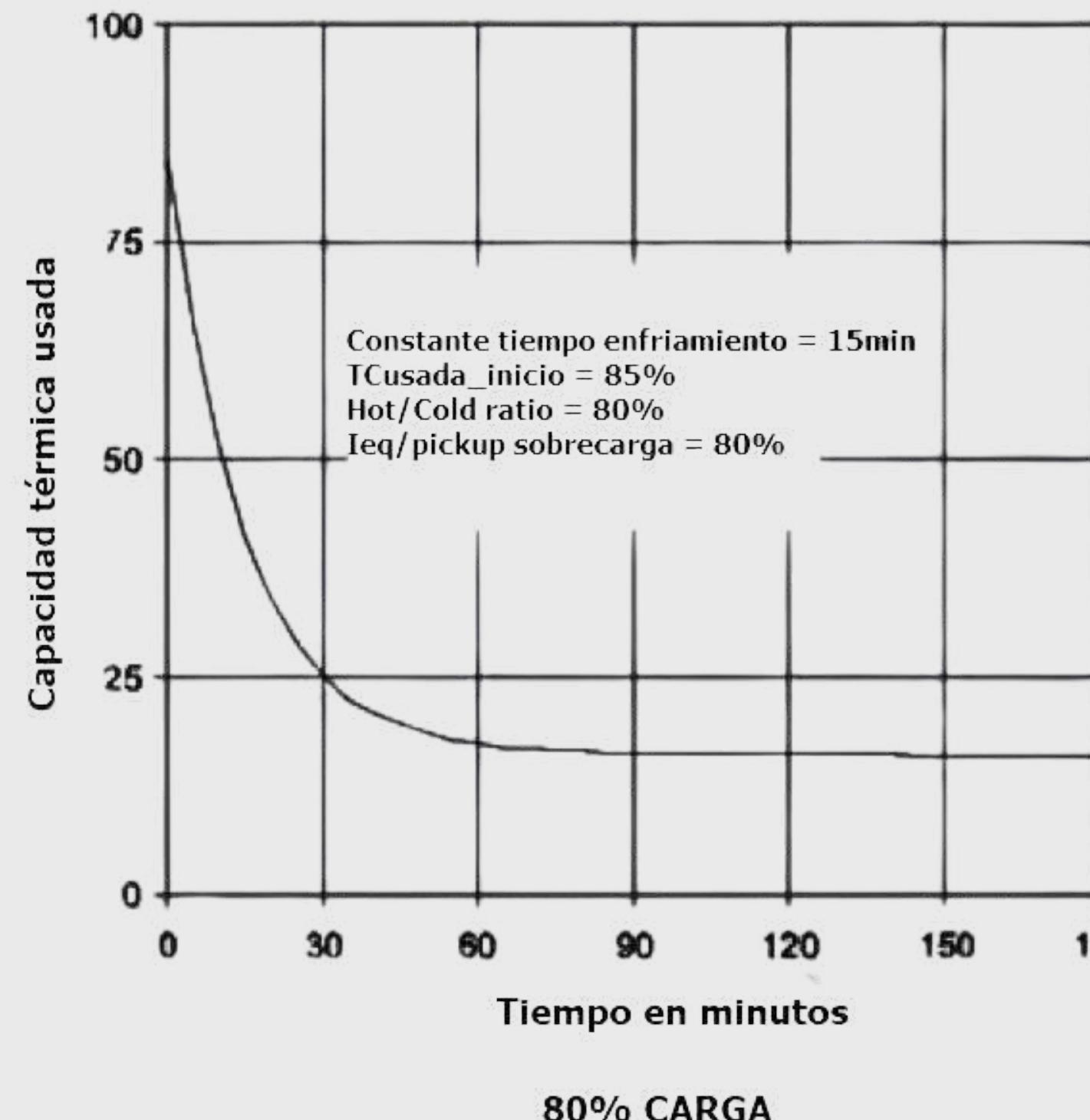
# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

- La capacidad térmica usada va a aumentar a una velocidad de 5% por minuto o a caer dependiendo de la constante de tiempo de enfriamiento.
- El ajuste hot/cold ratio puede ser determinado de las curvas de límite térmico del fabricante o con los tiempos máximos de rotor bloqueado en frío y en caliente. Divida el tiempo máximo en caliente entre el tiempo máximo en frío. En caso de que no tenga ninguno de estos dos datos, el setpoint hot/cold ratio debe ser 1.00

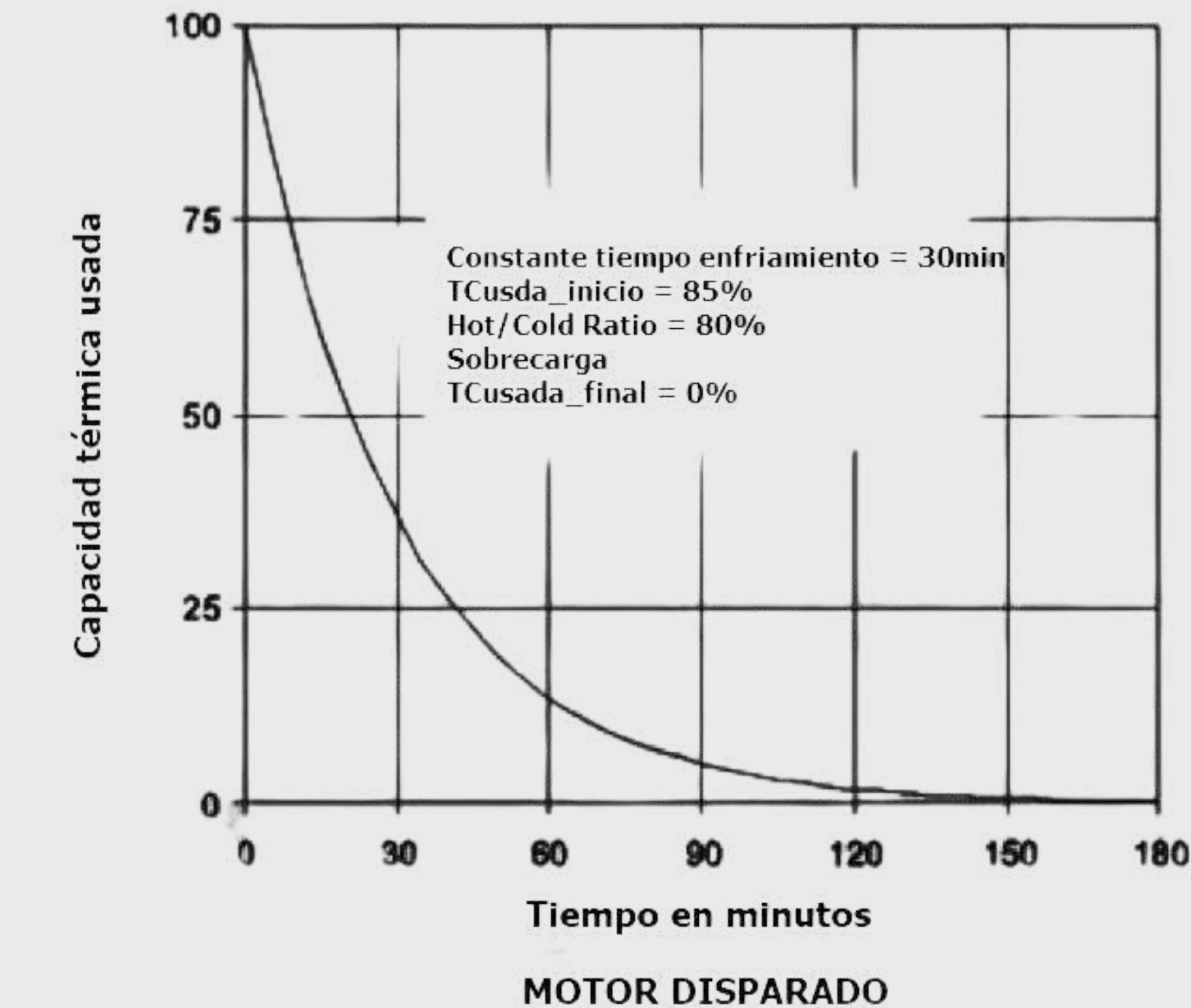
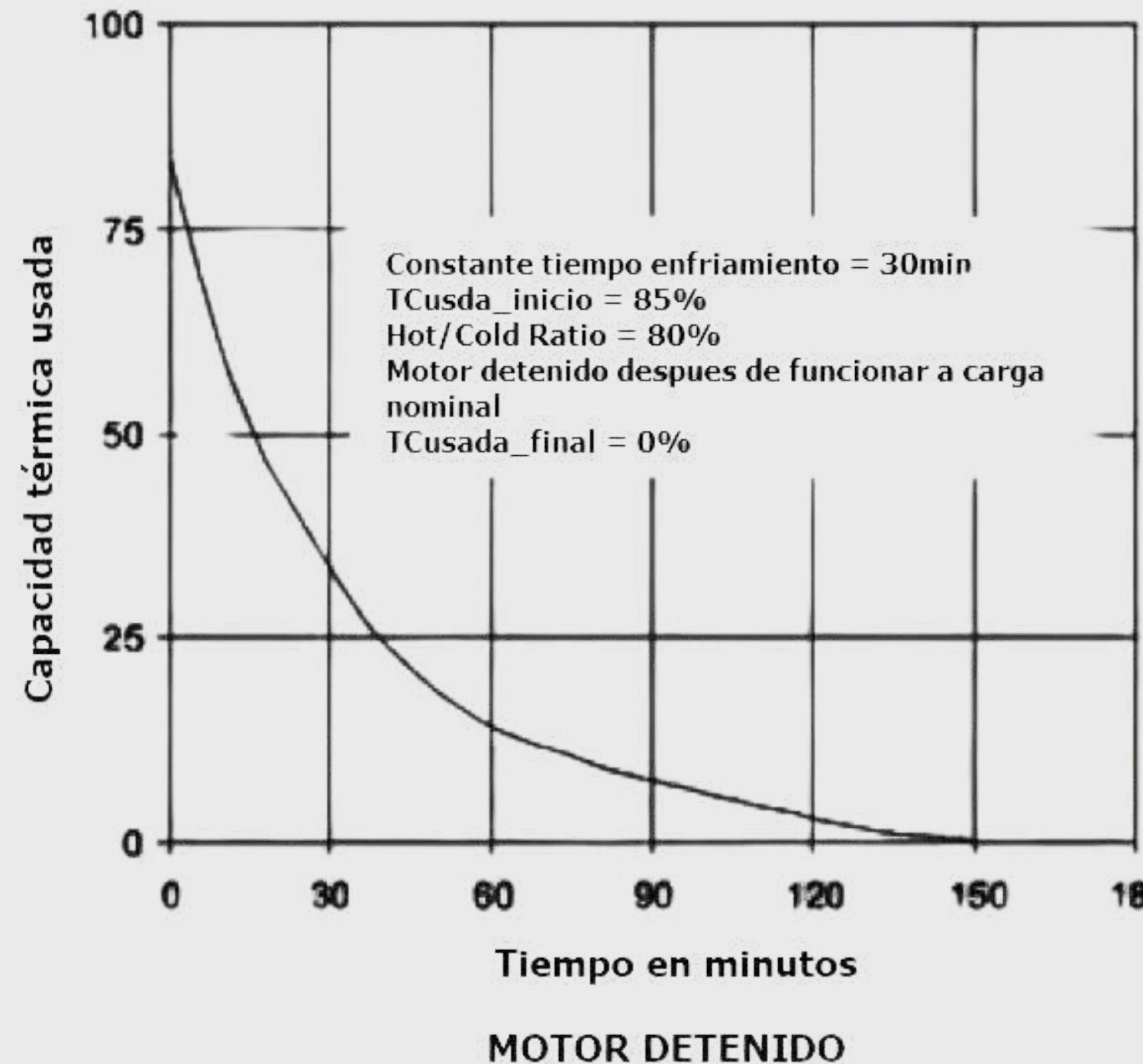
# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369



# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369



# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

- El modelo térmico basado en curva utiliza únicamente la medición de corriente y asume una temperatura ambiente de 40°C.
- En caso de que exista una subida inusual de temperatura ambiente o la ventilación del motor sea bloqueada, la temperatura del motor subirá sin que el relevador lo perciba.
- Si el motor tiene integrados RTDs en el estator, la función de ajuste por RTDS debe ser usada para corregir el modelo térmico.

## **Elemento térmico compensado por RTD**

- El ajuste con RTD es una característica del relevador GE 369, esta función es una retroalimentación en tiempo real de la temperatura medida del estator.
- Esta característica re ajusta el elemento térmico para situaciones imprevistas.

# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

### **Elemento térmico compensado por RTD**

- Si la temperatura del RTD del estator se encuentra debajo del ajuste mínimo de compensación por RTD (usualmente 40°C) ninguna compensación ocurrirá.
- Si la temperatura del RTD se encuentra arriba del ajuste máximo de compensación por RTD (usualmente la temperatura nominal del aislamiento), entonces, habrá una compensación en la capacidad térmica del motor, la cual sería 100%.
- Para valores intermedios, la capacidad térmica debido al modelo térmico es comparada contra la capacidad térmica de la compensación por RTD, la cual viene dada por una curva de 3 puntos.

# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

### **Elemento térmico compensado por RTD**

- Los 3 puntos de la curva de compensación por RTD son:
  - Compensación por RTD mínimo (usualmente ajustado a temperatura ambiente)
  - Compensación por RTD punto central (temperatura de operación del motor)
  - Compensación por RTD máximo (temperatura nominal del aislamiento)
- El relevador GE 369 determinará automáticamente la capacidad térmica usada para el punto central utilizando la relación de tiempos de rotor bloqueado caliente/frio.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369

### Elemento térmico compensado por RTD

- Capacidad térmica definida por la relación de tiempos de rotor bloqueado caliente/frio:

$$TCusado@RTD\_Centro = \left( 1 - \frac{\text{caliente}}{\text{frio}} \right) \times 100\%$$

- Para temperaturas menores que la temperatura RTD\_Centro, se utiliza la capacidad térmica debido al RTD de mayor temperatura:

$$RTD\_TCusado = \left( \frac{T_{actual} - T_{min}}{T_{centro} - T_{min}} \right) \times TCusado@RTD\_Centro$$

- Para temperaturas mayores que la temperatura RTD\_Centro:

$$RTD\_TCusado = \left( \frac{T_{actual} - T_{centro}}{T_{centro} - T_{centro}} \right) \times (100 - TCusado@RTD\_Centro) + TCusado@RTD\_Centro$$

# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

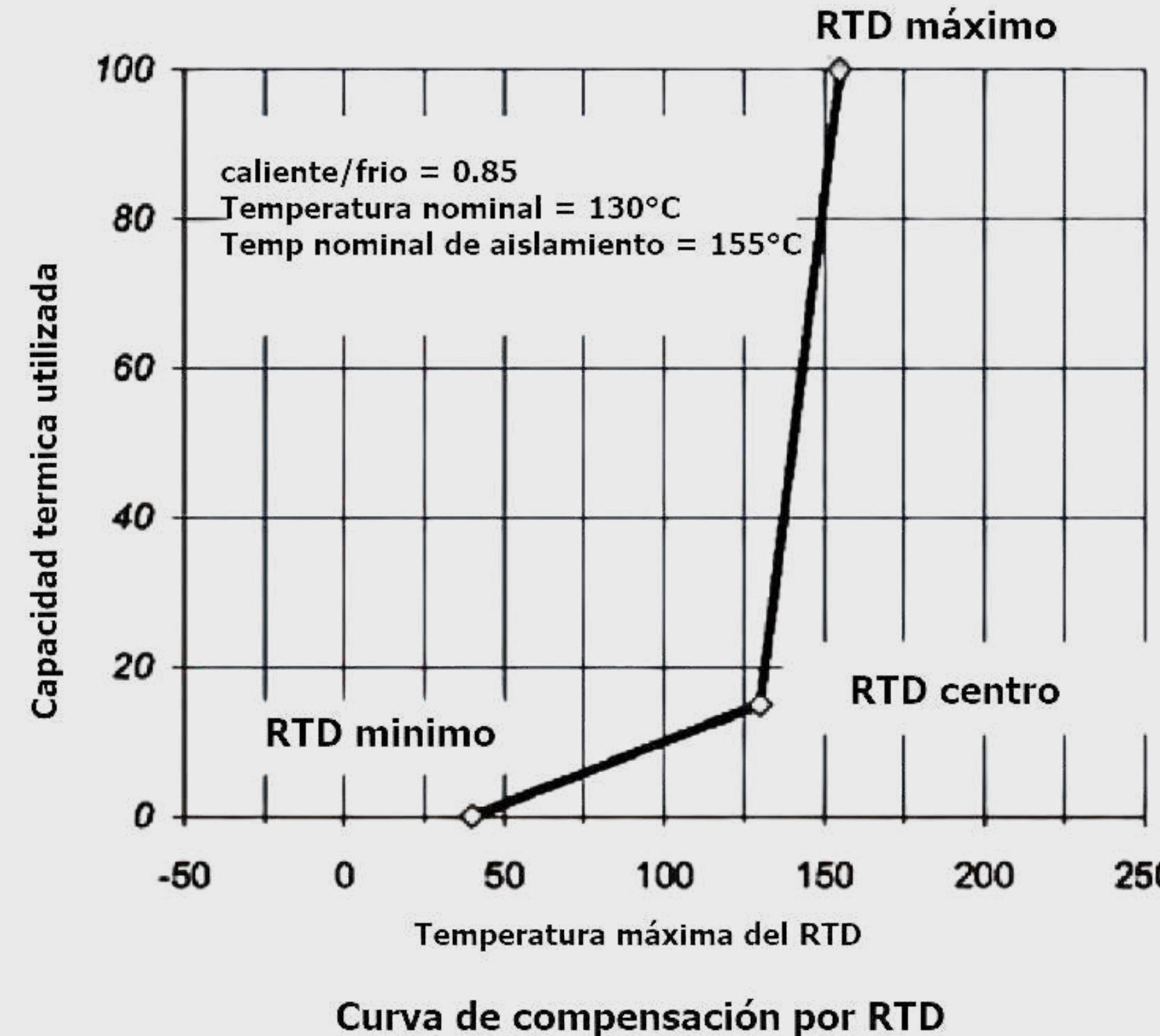
### **Elemento térmico compensado por RTD**

**Donde:**

- $T_{actual}$  = Temperatura actual presente en el RTD con mayor tempertura
- $T_{min}$  = Ajuste de compensación por RTD minimo (temperatura ambiente)
- $T_{centro}$  = Ajuste de compensación por RTD central (temperatura nominal de trabajo)
- $T_{max}$  = Ajuste de compensación por RTD máximo (temperatura nominal del aislamiento)
- $TCusado@RTD\_Centro$  = Capacidad térmica definida por la relación de tiempos de rotor bloqueado caliente/frio
- $RTD\_TCusado$  = Capacidad térmica usada debido al RTD de mayor temperatura.

# 7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados

## Relevador de protección General Electric 369



# **7. Consideraciones prácticas en la protección de motores con relevadores micro procesados**

## **Relevador de protección General Electric 369**

### **Elemento térmico compensado por RTD**

- Los RTDs son dispositivos con una respuesta lenta al cambio de temperatura, este método de compensación por RTD es bueno para realizar una corrección y analizar el calentamiento lento del motor.
- El resto del modelo térmico es necesario durante el arranque y condiciones de sobrecarga, ya que el calentamiento del motor es relativamente rápido.
- Hay que hacer la observación de que el método de compensación por RTD no puede disparar por si solo.
- Si la compensación por RTD fuerza la capacidad térmica al 100% la corriente del motor debe estar arriba del arranque de sobrecarga (pickup) para que el disparo ocurra.
- En otro caso, el motor dispara debido al límite de temperatura programado y medido por los RTDs.

# **Gracias por su atención.**

## **¿Alguna pregunta?**

