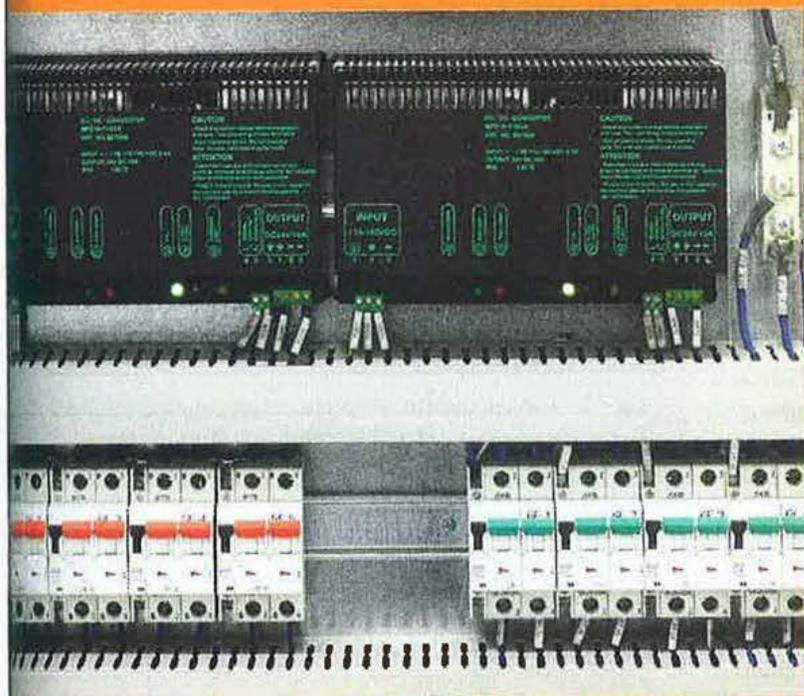


Plan de contingencia Pedagógica Para 5to Año
Incluye Bibliografía y Ejercicios de Repaso



Instrucciones: Leer el material y luego tratar de resolver los ejercicios. Ante cualquier duda consultar al siguiente mail:
hugowojczys@yahoo.com.ar

Automatismos para el arranque, control y protección de motores



Los criterios técnicos para la instalación de motores eléctricos pasan por conocer y saber conectar y configurar los equipos, componentes y sistemas que, tanto en lógica cableada como mediante dispositivos electrónicos, permitirán proteger, arrancar, controlar, invertir el giro, variar la velocidad y realizar el frenado de estas máquinas rotativas.

En esta unidad serán analizados los diferentes automatismos cableados y electrónicos relacionados con los motores eléctricos, al tratarse de los receptores por excelencia de las instalaciones industriales.

8

Contenidos

- 8.1. Protección de motores eléctricos
- 8.2. Arranque de motores eléctricos
- 8.3. Inversión de giro en motores eléctricos
- 8.4. Sistemas de variación de velocidad en motores de corriente alterna
- 8.5. Frenado de motores eléctricos
- 8.6. Compensación automática del factor de potencia

Objetivos

- Dar a conocer los sistemas específicos para la protección de motores.
- Interpretar y analizar los automatismos para el arranque de motores.
- Identificar los métodos para la inversión de giro.
- Introducir al alumno en los sistemas de variación y regulación de velocidad en motores.
- Definir los tipos de frenado de máquinas eléctricas rotativas.

8.1. Protección de motores eléctricos

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece, en la ITC-BT-47, las condiciones generales de instalación y protecciones mínimas que deben acompañar a los motores eléctricos durante su funcionamiento. Estas son:

- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra la falta de tensión.
- Limitación de las corrientes de arranque.

Protección contra sobrecargas

Los motores deben estar protegidos contra **cortocircuitos** y contra **sobrecargas** en todas sus fases, debiendo esta última protección ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la **falta de tensión** en una de sus fases.

En el caso de motores con arrancador estrella-triángulo, se asegurará la protección, tanto para la conexión en estrella como en triángulo. Las características de los dispositivos de protección deben estar de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para estos, debiendo seguirse las indicaciones dadas por el fabricante de los mismos.

Protección contra la falta de tensión

Los motores deben estar protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el **arranque espontáneo del motor**, como consecuencia del restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes o perjudicar el propio motor.

Dicho dispositivo puede formar parte del de protección contra las sobrecargas o del de arranque, y puede proteger a más de un motor si se da una de las circunstancias siguientes:

- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y la suma de potencias absorbidas no es superior a 10 kW.
- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y cada uno de ellos queda automáticamente en el estado inicial de arranque después de una falta de tensión.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones preestablecidas, no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo.

Si el motor tuviera que llevar dispositivos limitadores de la potencia absorbida en el arranque, es obligatorio, para quedar incluidos en la anterior excepción, que los dispositi-

vos de arranque vuelvan automáticamente a la posición inicial al originarse una falta de tensión y parada del motor.

Limitación de las corrientes de arranque

Los motores deben tener limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando se pudieran producir efectos que perjudicasen a la instalación u ocasionasen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otros receptores o instalaciones.

Cuando los motores vayan a ser alimentados por una red de distribución pública, se necesitará la conformidad de la empresa distribuidora respecto a la utilización de los mismos, cuando se trate de:

- Motores de gran inercia.
- Motores de arranque lento en carga.
- Motores de arranque o aumentos de carga repetida o frecuente.
- Motores para frenado.
- Motores con inversión de marcha.

En general, los motores de potencia superior a 0,75 kW deben estar provistos de **dispositivos que limiten la intensidad** absorbida durante el arranque.

Actividad propuesta 8.1

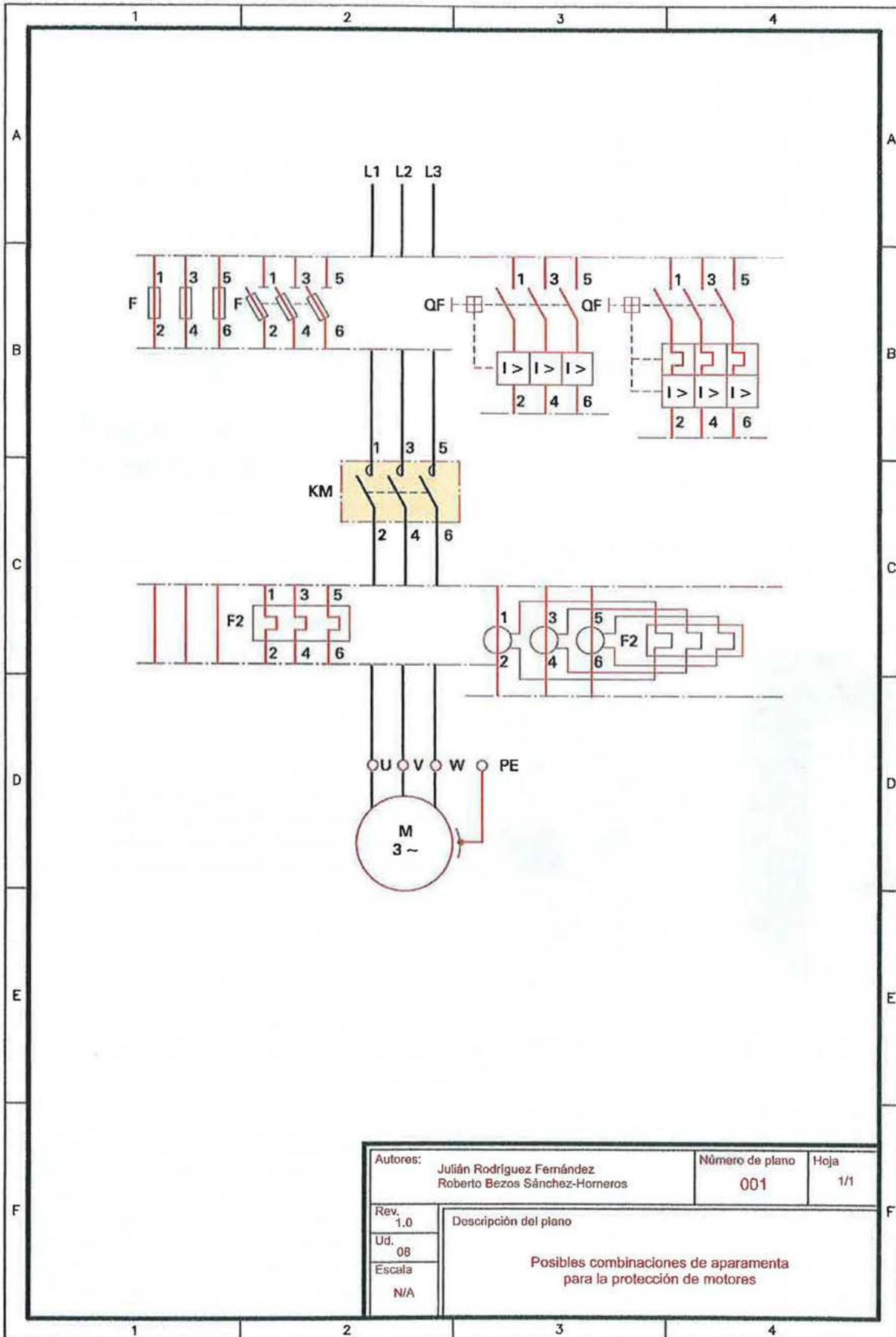
Enumera los dispositivos eléctricos que conoces para proteger a un motor eléctrico frente a sobrecargas de tipo:

- Térmico (sobrecargas).
- Magnético (cortocircuitos).

¿Dónde deben instalarse cada una de estas protecciones dentro del circuito?

En la Unidad 2 fueron analizados los principales dispositivos y equipos de protección asociados a las instalaciones eléctricas industriales. De entre todos estos dispositivos deben seleccionarse los que por sí mismos, o en combinación con otros, son capaces de proporcionar el nivel de protección exigido por el reglamento para la alimentación de motores. Las posibles combinaciones de elementos de protección en los esquemas de fuerza de automatismos industriales se muestran en el Plano 001.

Cabe destacar que existen sistemas y mecanismos para la protección específica de los motores eléctricos, que conviene que sean estudiados con mayor detalle, como por ejemplo, las sondas de temperatura interna, guardamotores o relés de protección integral.



8.1.1. El guardamotor

El guardamotor es un dispositivo de protección específicamente diseñado para la protección de motores eléctricos.

Su funcionamiento es similar al de un interruptor automático magnetotérmico, de hecho el símbolo gráfico que identifica a ambos es el mismo, pero presenta una serie de ventajas con respecto a este que lo convierten en el equipo por excelencia para la protección de motores trifásicos:

- Es mucho más robusto frente a las sobreintensidades transitorias producidas durante la fase de arranque del motor.
- La zona de disparo térmico está regulada a mayor tiempo e intensidad.
- Dispone de una ruleta selectora para regular el reglaje del disparo térmico.
- Proporciona protección frente a la falta de tensión en una fase.
- Dispone de acoplamientos mecánicos específicamente diseñados para la conexión de bloques de contactos auxiliares NO y NC.



Figura 8.1. Dos modelos diferentes de guardamotors. (Cortesía de Siemens y ABB.)

Las características técnicas que definen el guardamotor son prácticamente las mismas que definen a los interruptores automáticos:

- Intensidad nominal o de disparo (A).
- Tensión nominal (V).
- Poder de corte (kA).
- Curva de disparo (generalmente es la D o la K).
- Temperatura de trabajo.

- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

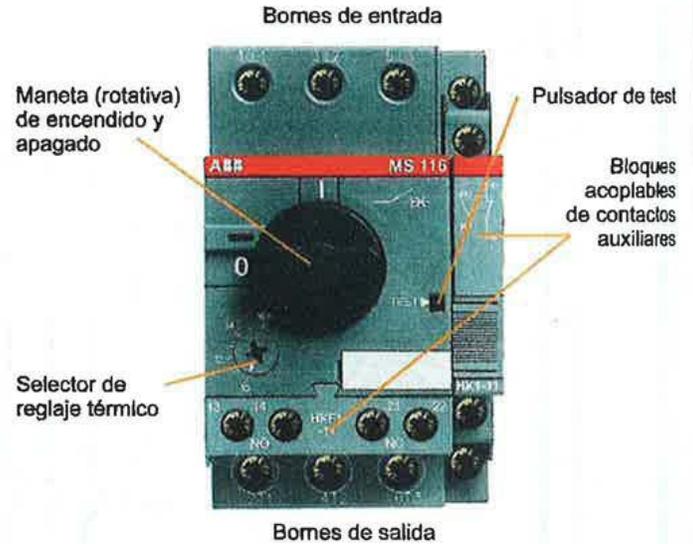


Figura 8.2. Parámetros característicos de un guardamotor.

8.1.2. Sondas térmicas para motores

Las sondas térmicas son un tipo de sensor de temperatura específico para la protección de los bobinados internos de un motor.

Los aumentos internos de temperatura en los motores pueden ser debidos a múltiples causas, como por ejemplo, una frecuencia de maniobra elevada, pérdida de una fase, refrigeración inadecuada o temperaturas ambiente excesivas.

El uso de sondas térmicas permite que, cuando los devanados del motor superan un determinado valor de temperatura, el motor se pare automáticamente al desconectarse el circuito de maniobra que lo controla. La máquina permanecerá fuera de servicio hasta que la temperatura descienda a unos niveles preestablecidos que aseguren su funcionamiento óptimo.

Existen dos tipos de sondas térmicas:

- **Sondas PTC:** son termistores insertados de serie en los devanados del motor, por parte del fabricante. Se basan en el principio de la variación de resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura, de manera que **si la temperatura aumenta la sonda aumenta su resistencia**. La anomalía se produce cuando el valor resistivo supera los 750 Ω y la desconexión del circuito de maniobra se hará efectiva cuando alcance el valor predefinido.

Los motores que incorporan sondas PTC de serie, las incorporan en cada fase del devanado, en el lado opuesto al ventilador.

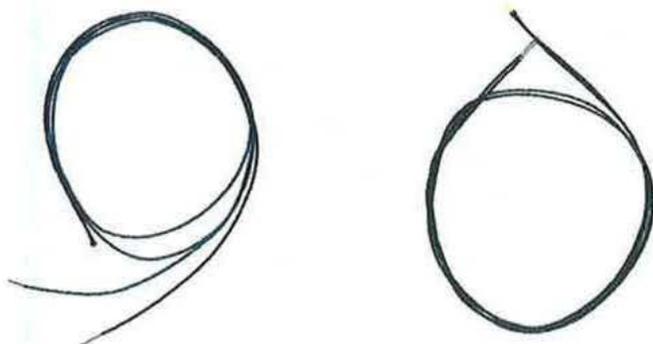


Figura 8.3. Sondas PTC.

- **Sondas NTC:** son similares a las sondas PTC en uso y características, pero el principio de funcionamiento es justo el contrario, ya que **disminuyen su valor resistivo a medida que la temperatura interna del motor aumenta.**

Las sondas NTC están diseñadas para ser acopladas al motor tras la fabricación, ya que no son introducidas de serie.

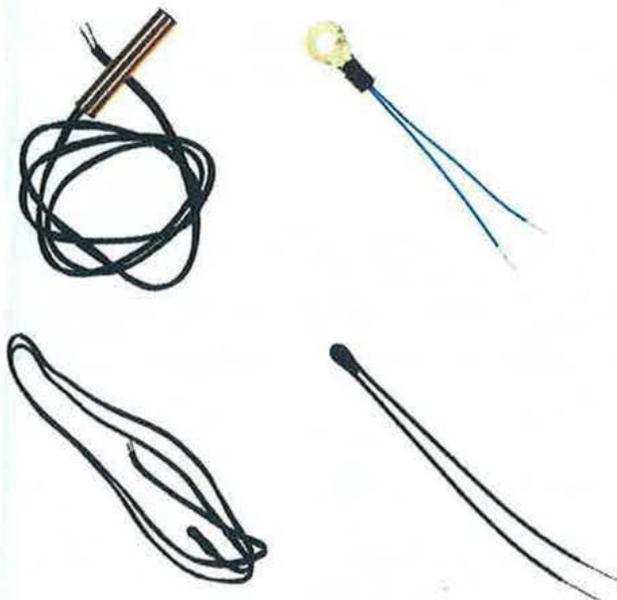


Figura 8.4. Sondas NTC.

El envío de las señales desde las sondas del motor hasta el circuito de maniobra puede realizarse a través de un amplificador electrónico o directamente hacia un relé específico de protección, que se activará tanto por aumento de la temperatura por encima del valor límite, como por el corte de línea o de cortocircuito de las sondas.



Figura 8.5. Relé de control de hasta 6 termistores. (Cortesía de Siemens.)

8.1.3. Relés electrónicos de protección integral

Los relés de protección integral son dispositivos electrónicos más sofisticados que los relés térmicos convencionales, cuya función es la protección de los motores frente a:

- Sobrecargas.
- Caídas de tensión.
- Variación de la frecuencia.
- Pérdida de una fase.
- Desequilibrios de corrientes e intensidades.
- Exceso número de arranques sucesivos por hora.

Están constituidos por microcontroladores electrónicos que supervisan constantemente los parámetros del circuito al que han sido conectados. Disponen de una memoria interna en la que se almacenan todas las anomalías detectadas, lo que facilita enormemente las tareas de mantenimiento; y permiten ajustar todas las características de funcionamiento del motor, así como los tiempos de actuación de las protecciones.

Al tratarse de dispositivos electrónicos, pierden muy poca precisión en las medidas con el paso del tiempo, al contrario de lo que ocurre con los relés convencionales. A pesar de sus múltiples ventajas, al tratarse de equipos muy caros en comparación con la aparatada de protección convencional, su uso está limitado a instalaciones cuyos motores tienen un alto valor económico o participan en procesos productivos muy críticos.



Figura 8.6. Relés de protección integral de motores. (Cortesía de Siemens y SEL.)

8.2. Arranque de motores eléctricos

Todos los motores eléctricos, tal como se ha estudiado en unidades anteriores, presentan puntas de intensidad durante su fase de arranque, debido a la gran cantidad de energía necesaria para generar los campos magnéticos con la fuerza suficiente como para producir un movimiento giratorio en el eje del motor. De hecho, en condiciones normales, el mayor valor de intensidad de corriente consumido por un motor se produce en el momento inicial del arranque, es lo que se ha denominado como intensidad máxima ($I_{m\acute{a}x}$) o intensidad de arranque (I_a).

8.2.1. Arranque de motores trifásicos

Los posibles métodos de arranque de motores eléctricos trifásicos son los siguientes:

- Arranques realizados mediante lógica cableada:
 - Arranque directo.
 - Arranque estrella-triángulo (Y- Δ).
 - Arranque mediante resistencias estatóricas.
 - Arranque mediante resistencias rotóricas.
 - Arranque por autotransformador.
 - Arranque *part-winding*.

- Arranques realizados mediante dispositivos electrónicos:

— Arrancadores progresivos.

En todos ellos, el objetivo buscado es reducir la intensidad en el arranque hasta unos límites admisibles que, por un lado, se encuentren dentro de los límites legales establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y por otro lado, no supongan un peligro para la integridad de los componentes de las instalaciones. Reduciendo la punta en el arranque de los motores también se consigue evitar el disparo intempestivo de los dispositivos de protección del circuito de fuerza.

Tabla 8.1. Límite admisible de intensidad en el arranque para motores de corriente alterna.

Potencia del motor	I_a/I_n
$P \leq 0,75 \text{ kW}$	No aplica
$0,75 \text{ kW} < P \leq 1,5 \text{ kW}$	4,5
$1,5 \text{ kW} < P \leq 5,0 \text{ kW}$	3,0
$5,0 \text{ kW} < P \leq 15 \text{ kW}$	2,0
$P > 15 \text{ kW}$	1,5

Las características de los diferentes métodos de arranque de motores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8.2. Características de los métodos de arranque de motores trifásicos.

	Directo	Estrella triángulo	Resistencias estatóricas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	Part winding	Convertidor frecuencia
Motor	Estándar	Estándar	Estándar	Específico	Estándar	6 devanados	Estándar
Coste	+	++	+++	+++	+++	++	++++
Corriente arranque motor	5 a 10 I_n	2 a 3 I_n	Aprox. 4,5 I_n	Aprox. 2 I_n	1,7 a 4 I_n	2 I_n	I_n
Caída de tensión	Alta	Alta en el cambio de conexión	Baja	Baja	Baja: precaución al conectar en directo	Baja	Baja
Armónicos de tensión y corriente	Alto	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Factor de potencia	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Alto
Número de arranq. disponibles	Restringido	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	3-4 veces más que directo	Elevado

	Directo	Estrella triángulo	Resistencias estáticas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	Part winding	Convertidor frecuencia
Par disponible	Aprox. 2,5 Mn	0,2 a 0,5 Mn	Mn	Aprox. 2 Mn	Aprox. 0,5 Mn	2 Mn	1,5 a 2 Mn
Solicit. térmica	Muy alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Baja
Solicitud mecánica	Muy alta	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja
Tipo de carga recomendado	Cualquiera	Sin carga	Bombas y vent.	Cualquiera	Bombas y vent.	Par creciente	Cualquiera
Carga gran inercia	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí

8.2.2. Arranque directo de un motor

Se trata del método de arranque más sencillo y económico, mediante el cual se suministra corriente al estátor del motor sin ningún paso intermedio. En estas condiciones el motor puede llegar a demandar hasta 10 veces su intensidad nominal, o incluso un valor mayor si el arranque se hace con carga.

Las principales ventajas que presenta el arranque directo, aparte de la sencillez y bajo precio del montaje, es el bajo tiempo empleado en alcanzar las condiciones nominales de funcionamiento (entre 2 y 3 segundos) y el elevado par de arranque que ofrece el motor, por lo que se suele utilizar en la mayoría de los motores de pequeña y mediana potencia.



RECUERDA

En motores de potencia superior a 750 W, no está permitido realizar un arranque directo.

En la práctica, solo resulta posible realizar el arranque directo a un motor eléctrico en los siguientes casos:

- La potencia del motor es baja con respecto a la totalidad de la instalación, para limitar las perturbaciones electromagnéticas que provoca el pico de intensidad de corriente.
- La aplicación del motor no requiere un aumento lento o progresivo de su velocidad
- El motor dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- La instalación debe ser capaz de soportar la demanda térmica y mecánica del arranque.

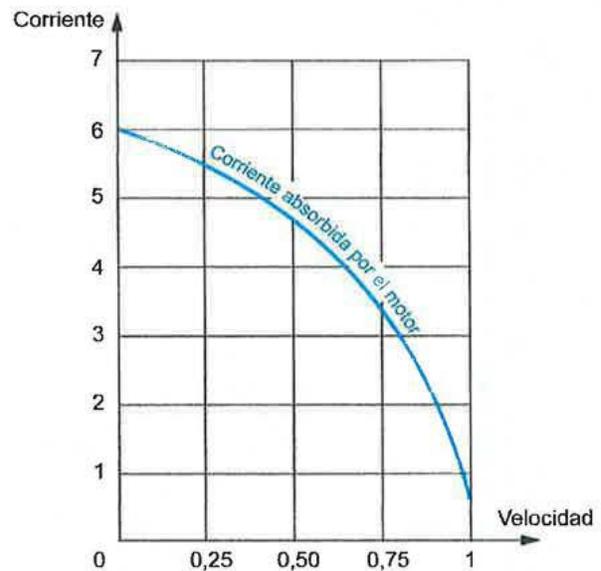


Figura 8.7. Curva corriente/velocidad en arranque directo.

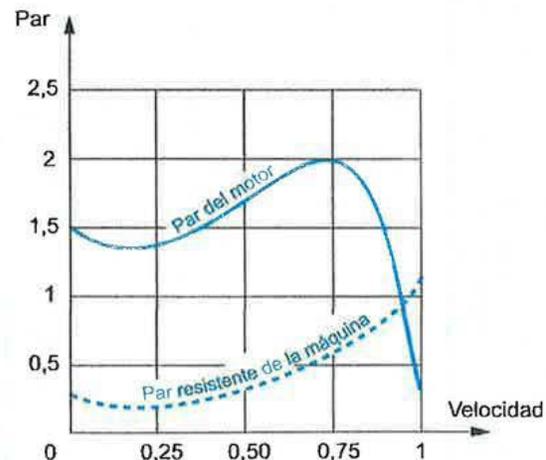
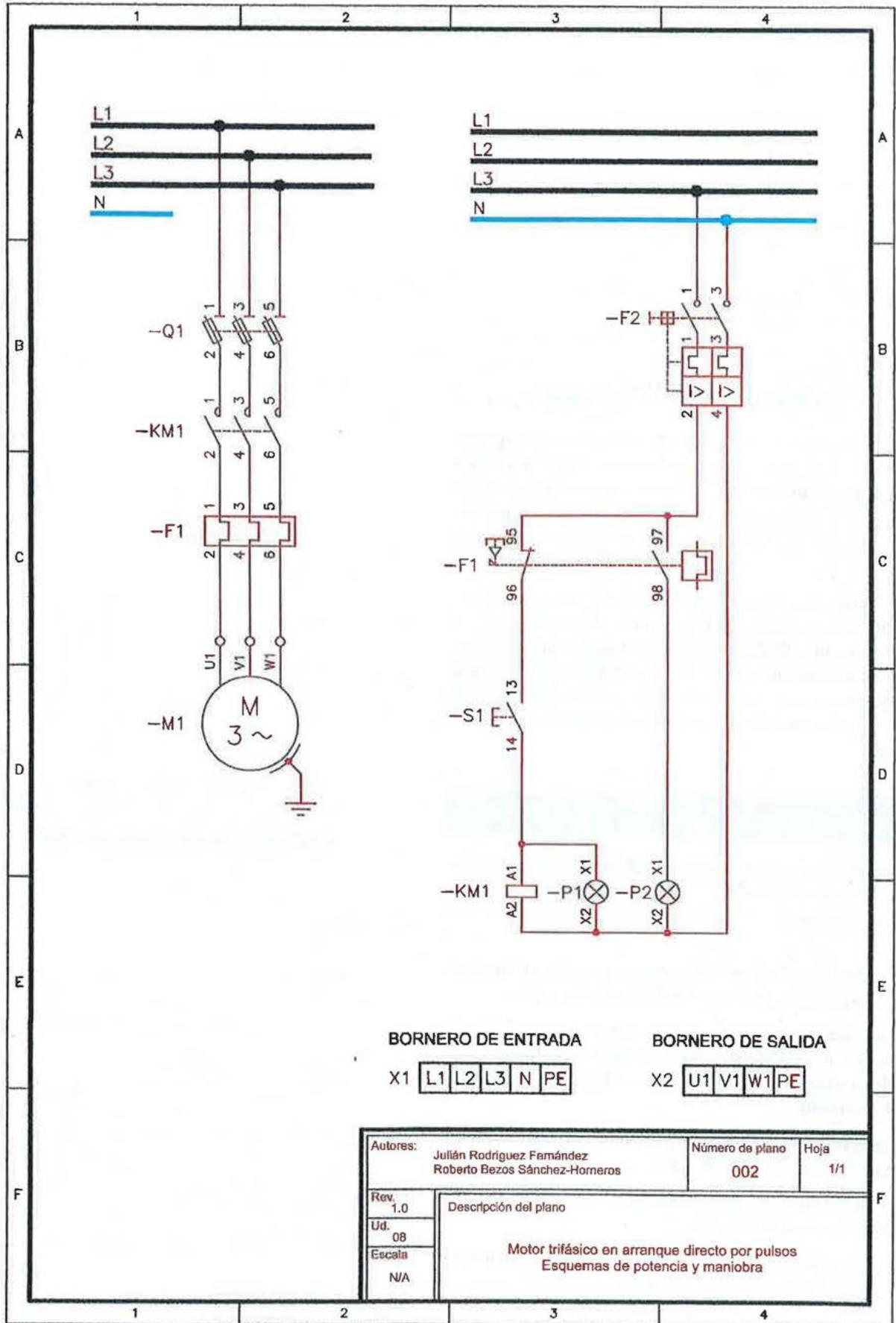
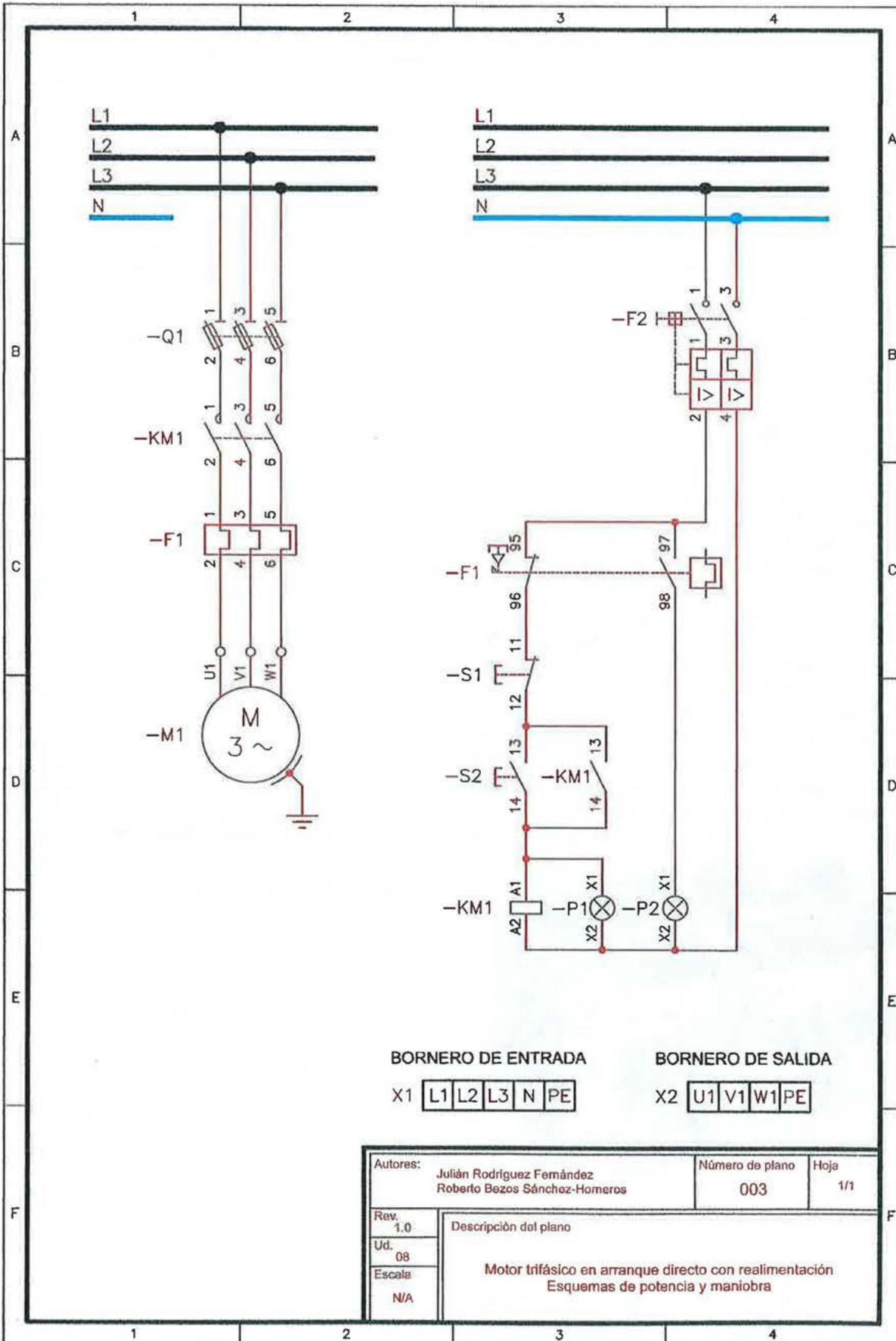


Figura 8.8. Curva par/velocidad en arranque directo.



Autores: Julián Rodríguez Fernández Roberto Bezos Sánchez-Horeros		Número de plano 002	Hoja 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano Motor trifásico en arranque directo por pulsos Esquemas de potencia y maniobra		
Ud. 08			
Escala N/A			



8.2.3. Arranque estrella-triángulo (Y-Δ)

Este tipo de arranque únicamente puede ser utilizado en motores trifásicos en los que existe la posibilidad de ser conectados tanto en estrella como en triángulo, cuando la tensión de la red eléctrica es tal, que **el motor deba funcionar en triángulo en régimen permanente**.

RECUERDA

De las dos tensiones ofrecidas para un motor de conexión Y-Δ, la tensión menor corresponde a la que habría que utilizar para la conexión en triángulo.

El método de arranque consiste en realizar una conexión en estrella en los momentos iniciales de la conexión del motor. De esta manera, a los devanados internos les llegará la tensión de la red dividida por el coeficiente $\sqrt{3}$.

Al recibir menos tensión de la que el estátor requiere para su funcionamiento, la intensidad absorbida durante el arranque también se verá reducida, en aproximadamente $2/3$ de la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}). Es decir, con el arranque estrella-triángulo se logra reducir la I_{AD} hasta el 33 % de su valor. Pasados unos segundos desde el arranque, cuando los campos magnéticos ya se han establecido y el eje del motor ha comenzado a girar, se realiza una conmutación por medio de tres contactores, pasando de la conexión en estrella a la conexión en triángulo. En estas condiciones el motor alcanza el régimen de funcionamiento nominal conectado adecuadamente en triángulo.

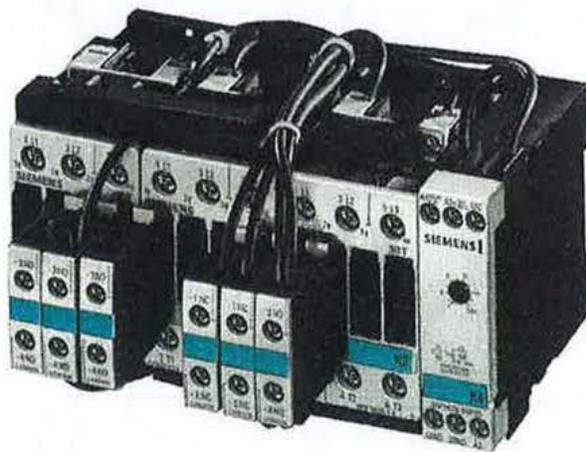


Figura 8.9. Grupo de tres contactores precableados para el arranque Y-Δ.

Mediante el arranque Y-Δ, se aumenta el tiempo que el motor tarda en alcanzar el régimen de trabajo nominal, siendo generalmente de entre 3 a 12 segundos dependiendo de las necesidades, ya que este tiempo es regulable.

Es un sistema de arranque muy económico y fiable utilizado fundamentalmente en máquinas que arrancan en vacío, ventiladores, bombas de baja potencia y equipos similares. Las desventajas que presenta son las siguientes:

- El **par de arranque es muy débil** (se reduce hasta el 33 % del valor que alcanzaría en arranque directo).
- La única posibilidad de ajuste del arranque es el tiempo que tardará en hacer la conmutación.
- Durante la conmutación de estrella a triángulo, se produce un corte de alimentación que genera fenómenos y perturbaciones transitorias, por lo que los motores en los que se aplica este arranque no pueden ser de potencia muy elevada.

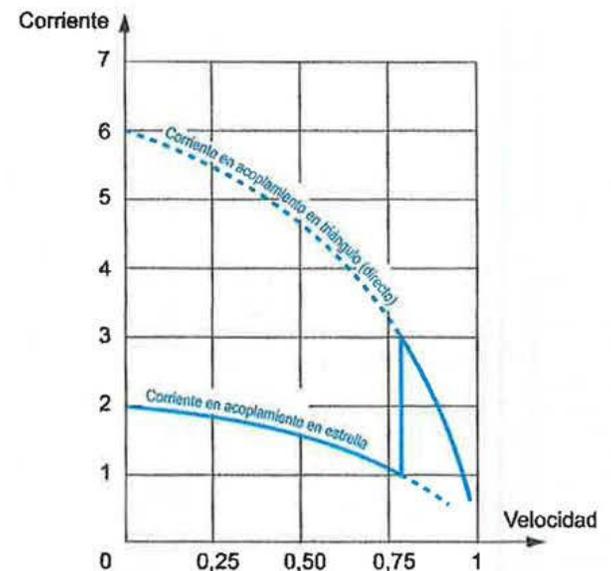


Figura 8.10. Curva corriente/velocidad en arranque Y-Δ.

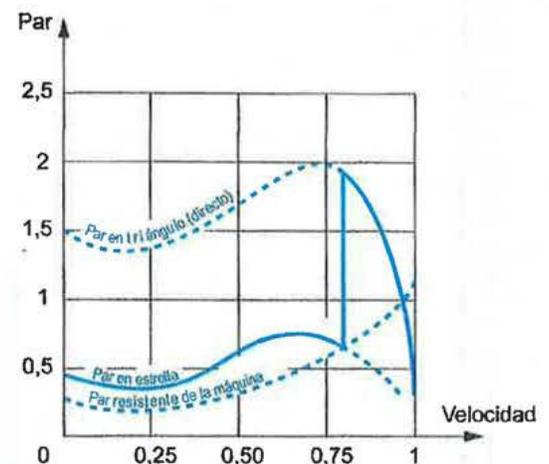
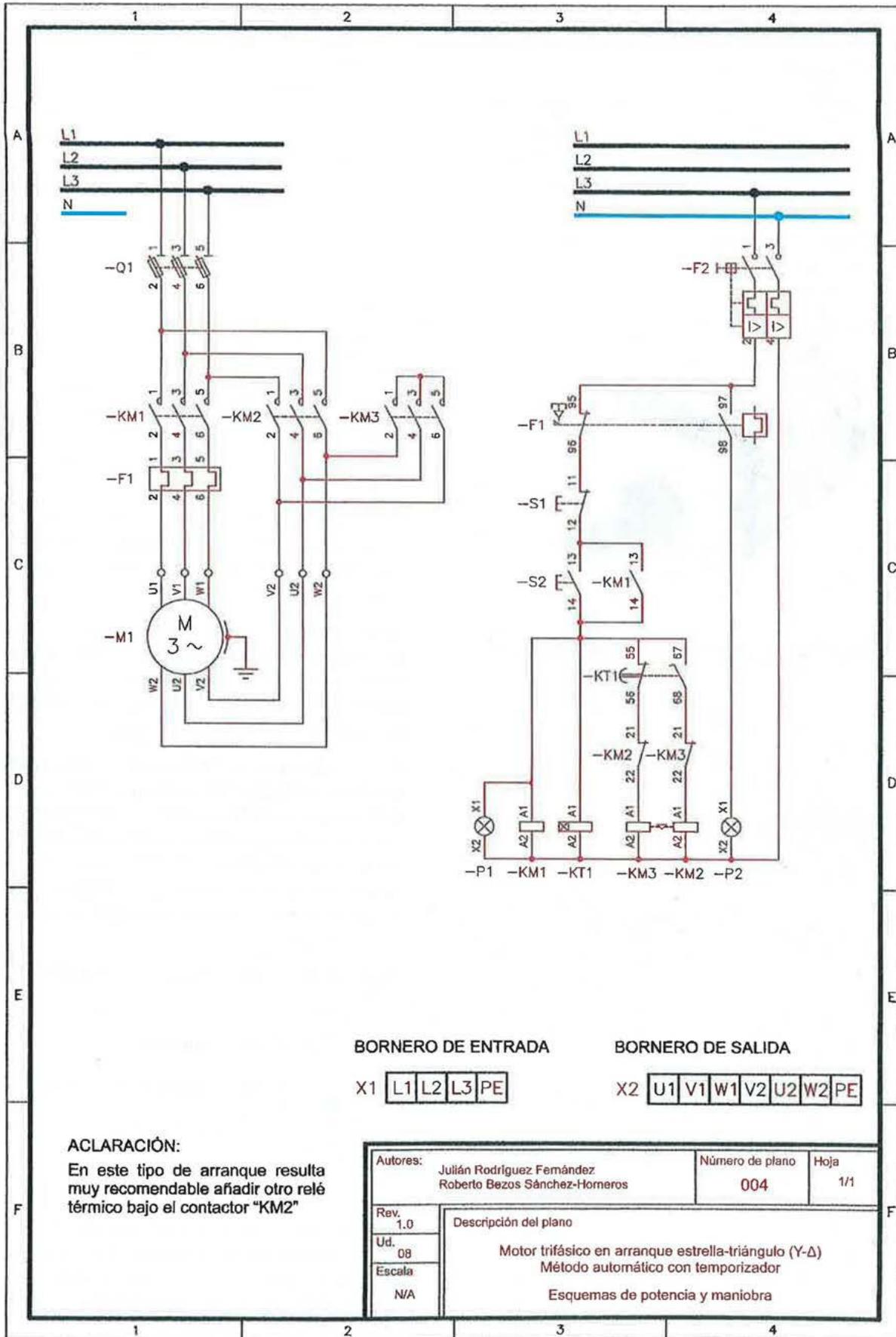


Figura 8.11. Curva par/velocidad en arranque Y-Δ.



Arranque estrella-triángulo mediante métodos manuales

En el Plano 004 se muestra un arranque Y-Δ controlado de manera automática por un temporizador. Este es, sin duda, el método más utilizado para llevar a cabo este arranque, pero cabe destacar que también puede ser realizado de manera manual de dos formas alternativas:

- A través de un interruptor conmutador de tres posiciones ubicado en el circuito de fuerza, solo recomendable para motores que no superen los 10 kW.



Figura 8.12. Conmutador de tres posiciones para el arranque Y-Δ.

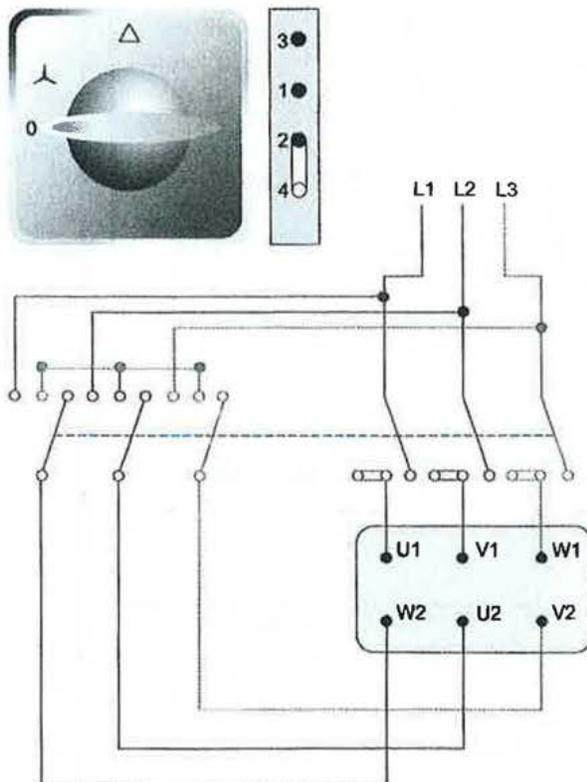


Figura 8.13. Detalle de conexiones internas del conmutador de tres posiciones para el arranque Y-Δ.

- Mediante dos pulsadores manuales situados en el circuito de maniobra. Estas prácticas de arranque manuales están cada vez más en desuso, dado que presentan un claro inconveniente: la conmutación de estrella a triángulo depende de la destreza del operario para calcular el tiempo que el motor permanece con la conexión en estrella, y de no realizarse correctamente, la máquina podría resultar dañada.

Actividad resuelta 8.1

Realiza el esquema de potencia y maniobra correspondiente al arranque de un motor trifásico de pequeña potencia mediante el método estrella-triángulo, realizando manualmente la conmutación de conexión en estrella a conexión en triángulo mediante dos pulsadores manuales.

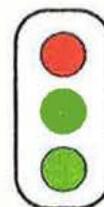
Solución:

El esquema de potencia no se ve alterado con respecto al arranque automático con temporizador. En el circuito de maniobra, sin embargo, es necesario hacer algunas modificaciones, representadas en el Plano 005.

En este caso, al accionar el pulsador de marcha S2, se activa en primer lugar el contactor KM3 (se cierra la conexión V2-U2-W2) y a continuación se cierra KM1, de manera que le empieza a llegar corriente al motor, el cual se encuentra conectado en estrella.

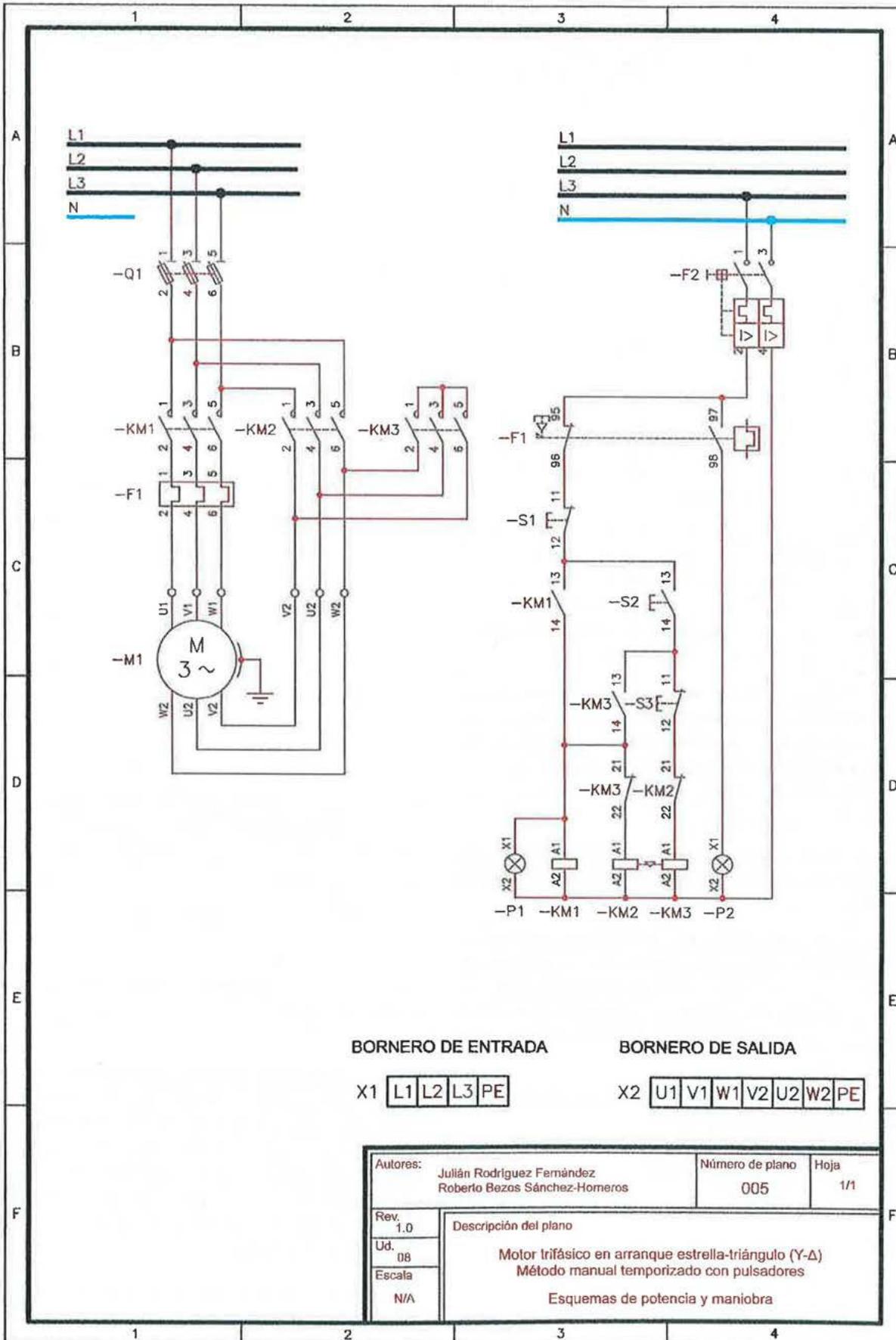
Este estado permanecerá activo hasta que el operario accione el pulsador S3, mediante el cual se desconecta KM3 y activa KM2, pasando el motor a estar conectado de manera permanente en triángulo, hasta que se accione el pulsador de paro S1. Una vez en este estado no influye que se vuelva a pulsar S3, dado que las conexiones entre contactores están protegidas por enclavamientos eléctricos.

El puesto de mando, por tanto, sería similar a este:



- S1 - Pulsador de paro
- S2 - Pulsador de arranque en estrella
- S3 - Pulsador de paso a triángulo

Al llevar a la práctica este tipo de esquemas, hay que prestar especial atención en el arranque del motor, puesto que de no realizarse la conmutación de estrella a triángulo en el tiempo adecuado el motor podría sufrir daños internos, dado que se está alimentando a los devanados por debajo de su tensión nominal.



Actividades de aplicación

- 8.1. ¿Cuál es el componente fundamental de un arrancador electrónico? ¿Cuál es su función?
- 8.2. ¿Qué es un guardamotor? Define sus principales características.
- 8.3. Explica brevemente qué es una sonda térmica PTC, definiendo sus características fundamentales. ¿Dónde se ubican este tipo de sondas?
- 8.4. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002), en general, ¿a partir de qué potencia a un motor trifásico no se le puede realizar un arranque directo?
- 8.5. De forma aproximada, en el arranque directo de un motor, ¿cuántas veces es superior la punta de intensidad en el momento del arranque en relación con la intensidad nominal?
- 8.6. Suponiendo que la punta de intensidad en arranque directo de un motor trifásico fuese de 24 amperios, ¿qué valor aproximado alcanzaría si se le realizase un arranque estrella-triángulo?
- 8.7. De forma aproximada, en el arranque directo de un motor, ¿cuántas veces es superior la punta de intensidad en el momento del arranque en relación con la intensidad nominal?
- 8.8. Suponiendo que la punta de intensidad en arranque directo de un motor trifásico fuese de 24 amperios, ¿qué valor aproximado alcanzaría si se le realizase un arranque estrella-triángulo?
- 8.9. Identifica los siguientes elementos:

