

PRÁCTICA Nº 9
ARRANQUE
DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

PRÁCTICA N° 9

ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

OBJETIVO

El objetivo es el de analizar los distintos tipos de arranques de los motores de inducción con sus características propias y en particular los siguientes casos:

- Arranque directo.
- Arranque estrella-triángulo.
- Arranque por resistencias rotóricas.
- Arranque electrónico.

FUNDAMENTO TEÓRICO

ARRANQUE DE MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

1.- Introducción

Durante el arranque de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores del entorno, sobre todo si no se ha tenido en cuenta a la hora de calcular la sección de la línea de alimentación.

A fin de poner remedio a estos inconvenientes, los Reglamentos limitan el uso de motores de arranque directo que superen cierta potencia. Los motores de jaula de ardilla son los únicos que pueden acoplarse directamente a la red por medio de un equipo simple.

En los motores de jaula de ardilla, únicamente son accesibles los terminales del devanado del estátor en la placa de bornas. Dado que el fabricante determina las características del motor, los distintos procesos de arranque consisten principalmente en hacer variar la tensión en las bornas del estátor. En este tipo de motores, cuya frecuencia es constante, la reducción de la punta de corriente conlleva de manera automática una fuerte reducción del par.

2.- Tiempo de arranque

La intensidad de arranque de un motor de inducción es siempre mucho más alta que la intensidad nominal, y un exceso en el tiempo de arranque produce una elevación de temperatura que puede ser perjudicial para el motor.

Además, esta sobreintensidad lleva consigo esfuerzos electromecánicos. Los fabricantes suelen establecer un tiempo de arranque máximo en función del tamaño del motor y de la velocidad. La norma IEC 34-12, en lugar del tiempo de arranque, especifica el momento de inercia permitido de la máquina accionada.

Para motores pequeños el esfuerzo térmico es mayor en el devanado del estátor, mientras que en motores grandes es mayor en el devanado del rotor.

Si se conocen las curvas del par de motor y de la carga, el tiempo de arranque se puede calcular integrando la ecuación:

$$M - M_r = (J_M + J_r) \frac{d\omega}{dt}$$

Donde: M = par del motor, Nm
 M_r = par resistente o de carga
 J_M = momento de inercia del motor, kgm^2
 J_r = momento de inercia de la carga, kgm^2
 ω = velocidad angular del motor

3.- Par en función de la variación de la tensión

Casi sin excepción, la intensidad de arranque disminuye algo más que proporcionalmente respecto a la tensión. Así, a 90% de la tensión nominal el motor consume entre el 87 y el 89%. El par de arranque es proporcional al cuadrado de la intensidad. El par suministrado al 90% de la tensión nominal es, por tanto, del 75 al 79% del par de arranque nominal.

Si la tensión se desvía de la tensión nominal del motor, el par del motor variará aproximadamente en proporción al cuadrado de la tensión. Es, por tanto, vital que los cables que suministran energía al motor estén dimensionados generosamente para asegurar que no haya caída de tensión significativa durante el arranque o cuando el motor está en marcha.

4.- Arranque de motores asíncronos trifásicos

Denominamos arranque al proceso de puesta en marcha de una máquina eléctrica. En el caso de los motores asíncronos, para que esta operación pueda llevarse a cabo, es preciso, que el par de arranque sea superior al par resistente de la carga, de esa forma se obtiene un momento de aceleración que obliga a girar al motor a una velocidad cada vez más elevada, alcanzando el régimen permanente cuando se igualan los pares motor y resistente.

El proceso de arranque va acompañado de un consumo elevado de corriente. La Instrucción MIE BT 034, Apto. 1.5, del Reglamento Electrotécnico para B.T., fija los límites de la relación corriente de arranque/corriente de plena carga, según se indica en la siguiente tabla:

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	$I_{\text{arranque}}/I_{\text{plena carga}}$
De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5 kW	3,0
De 5 kW a 15 kW	2,0
Más de 15 kW	1,5

Para reducir las corrientes en el momento de la puesta en marcha de un motor, se emplean métodos especiales de arranque, según que la máquina tenga su rotor en forma de jaula de ardilla o con anillos. Los principales métodos de arranque son los siguientes:

- Arranque directo
- Arranque estrella triángulo
- Arranque estático por resistencias
- Arranque por autotransformador
- Arranque de los motores de rotor bobinado
- Arranque electrónico

4.1.- Arranque directo

La manera más simple de arrancar un motor de jaula de ardilla es conectar el motor directamente a la red.

En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula de poca resistencia del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales.

Se obtiene una punta de corriente importante en la red: $I_{arr} = 5 \text{ a } 8 I_n$
 El par de arranque medio es: $M_{arr} = 0,5 \text{ a } 1,5 M_n$

El arranque directo tiene una serie de ventajas:

- ◆ Sencillez del equipo
- ◆ Elevado par de arranque
- ◆ Arranque rápido
- ◆ Bajo coste

A pesar de las ventajas que conlleva, sólo es posible utilizarle en los siguientes casos:

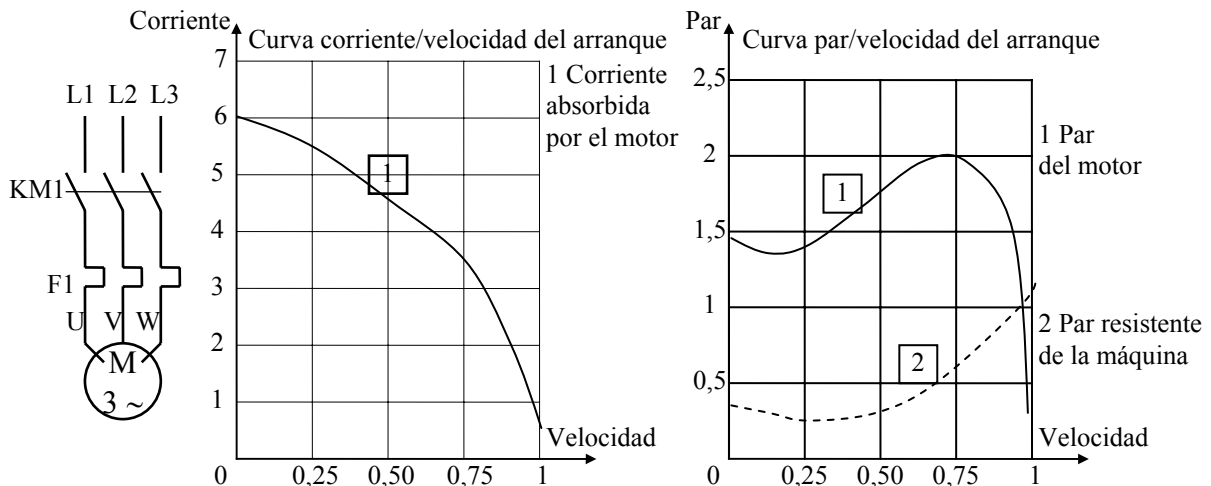
- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- El par de arranque debe ser elevado.

Por el contrario, será imprescindible recurrir a algún procedimiento para disminuir la corriente solicitada o el par de arranque, siempre que:

- La caída de tensión provocada por la corriente solicitada puede perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma red.
- La máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas.
- La seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida.

En estos casos, el método más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida. La variación de la tensión de alimentación tiene las siguientes consecuencias:

- ◆ La corriente de arranque varía proporcionalmente a la tensión de alimentación.
- ◆ El par de arranque varía proporcionalmente al cuadrado de la tensión de alimentación.



4.2.- Arranque estrella triángulo

Sólo es posible utilizar este método de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estáticos estén conectados en la placa de bornas. Por otra parte, el bobinado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triángulo corresponda con la tensión de la red. En el caso de una red trifásica de 380 V, es preciso utilizar un motor bobinado a 380 V en triángulo y 660 V en estrella.

El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella por $\sqrt{3}$. La punta de corriente durante el arranque se divide por 3. El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación.

La punta de corriente en el arranque es: $I_{arr} = 1,5 \text{ a } 2,6 I_n$
 El par de arranque es: $M_{arr} = 0,2 \text{ a } 0,5 M_n$

En los motores industriales la relación entre el par de arranque y nominal, varía entre 1,2 y 2; en consecuencia el par de arranque resultante oscila entre 0,4 y 0,67 del par nominal, por ello este procedimiento solamente se aplica en aquellos casos en los que el par resistente de la carga, en el momento de la puesta en marcha no excede, como media, del 50% del par nominal, como sucede en determinadas aplicaciones como, bombas centrífugas y ventiladores.

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor rinde según sus características. Mediante un temporizador se controla el tiempo de transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo. El cierre del contactor de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor de estrella y se restablece con el cierre del contactor de triángulo. En paso al acoplamiento en triángulo va acompañado de una punta de corriente transitoria, tan breve como importante, debida a la fuerza contra electromotriz del motor.

El arranque estrella-triángulo es apropiado para las máquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío.

Dependiendo del régimen transitorio en el momento del acoplamiento en triángulo, puede ser necesario utilizar una variante que limite los fenómenos transitorios cuando se supera cierta potencia:

⇒ *Temporización de 1 a 2 segundos al paso estrella-triángulo.*

Esta medida permite disminuir la f.c.e.m. y, por tanto, la punta de corriente transitoria.

Esta variante sólo puede utilizarse en máquinas cuya inercia sea suficiente para evitar una deceleración excesiva durante la temporización.

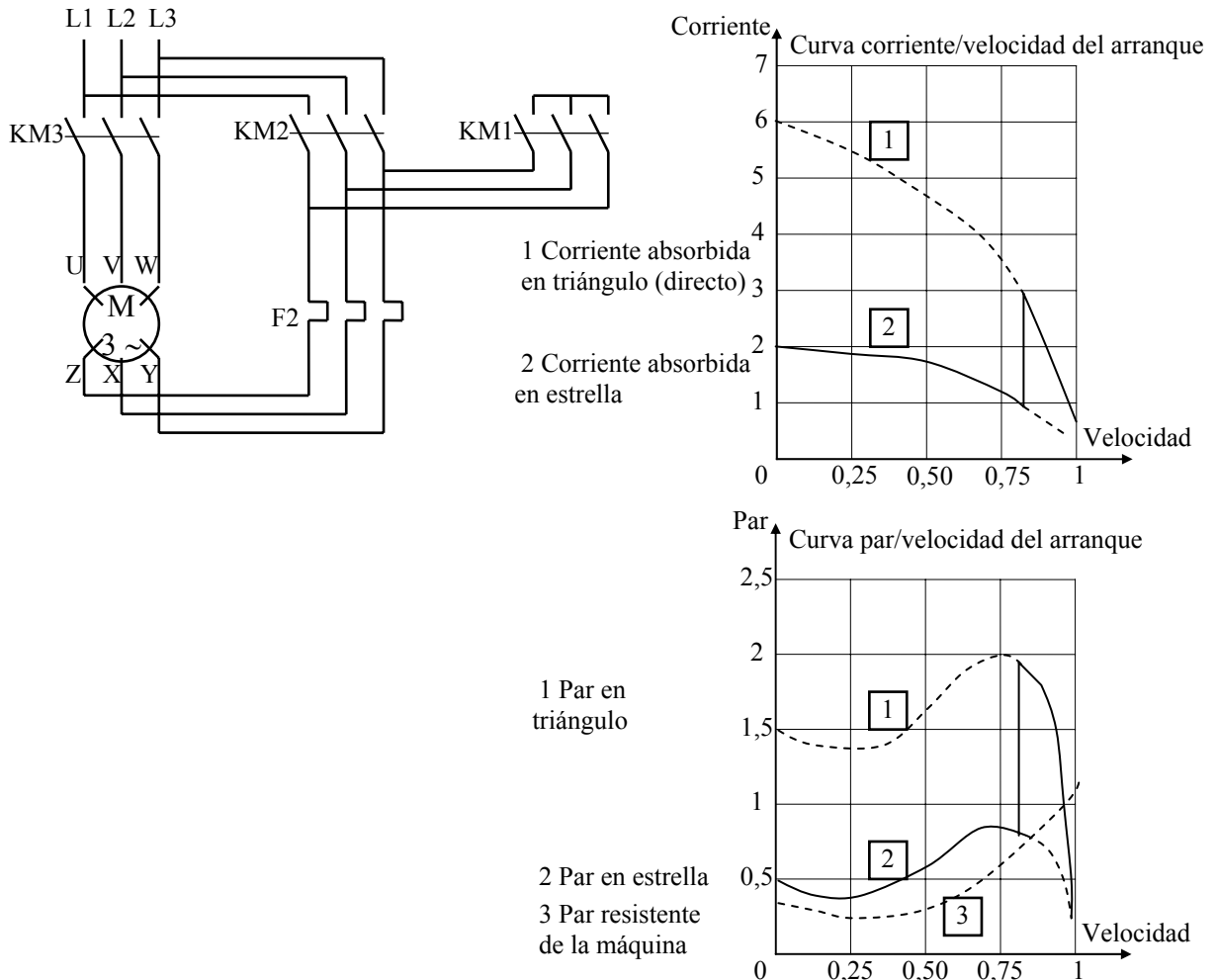
⇒ *Arranque en tres tiempos: estrella-triángulo + resistencia-triángulo.*

El corte se mantiene, pero la resistencia se pone en serie aproximadamente durante tres segundos con los devanados acoplados en triángulo. Esta medida reduce la punta de corriente transitoria.

⇒ Arranque en estrella-triángulo + resistencia-triángulo sin corte.

La resistencia se pone en serie con los devanados inmediatamente antes de la apertura del contactor de estrella. Esta medida evita cualquier corte de corriente y, por tanto, la aparición de fenómenos transitorios.

El uso de estas variantes conlleva la instalación de componentes adicionales y el consiguiente aumento del coste total.



4.3.- Arranque estático por resistencias

Consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados. Una vez estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red. Para controlar la operación, normalmente, se suele utilizar un temporizador.

Durante este tipo de arranque, el acoplamiento de los devanados del motor no se modifica, por tanto, no es necesario que las dos extremidades de cada devanado lleguen a la placa de bornas.

El valor de la resistencia se calcula en base a la punta de corriente que no se debe superar durante el arranque, o al valor mínimo del par de arranque necesario teniendo en cuenta el par resistente de la máquina accionada.

Generalmente, los valores de la corriente y del par de arranque son:

$$I_{arr} = 4,5 I_n$$

$$M_{arr} = 0,75 M_n$$

Durante la fase de aceleración con las resistencias, la tensión que se aplica a las bornas del motor no es constante. Equivale a la tensión de la red menos la caída de tensión que tiene lugar en la resistencia de arranque.

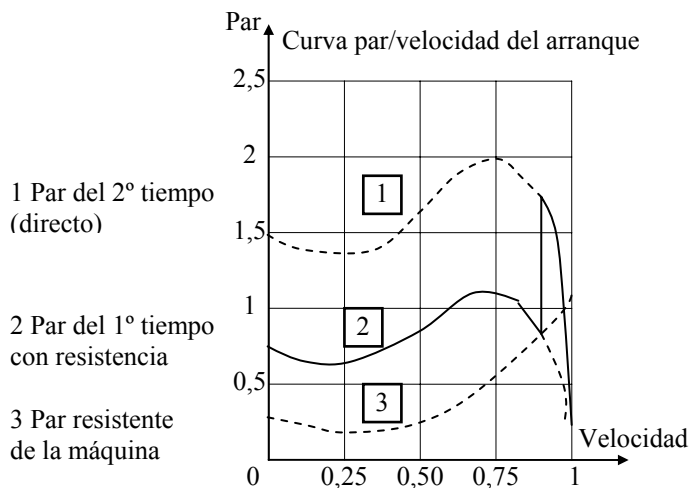
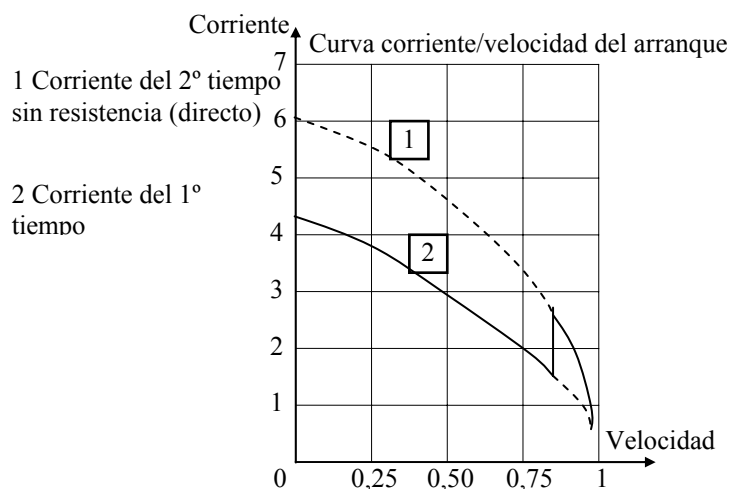
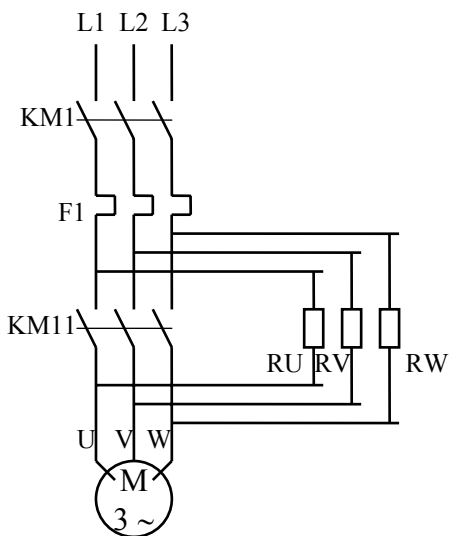
La caída de tensión es proporcional a la corriente absorbida por el motor. Dado que la corriente disminuye a medida que se acelera el motor, sucede lo mismo con la caída de tensión de la resistencia. Por tanto, la tensión que se aplica a las bornas del motor es mínima en el momento del arranque y aumenta progresivamente.

Dado que el par es proporcional al cuadrado de la tensión en las bornas del motor, este aumenta más rápidamente que el caso del arranque estrella-triángulo, en el que la tensión permanece invariable mientras dura el acoplamiento en estrella.

Este tipo de arranque es apropiado para máquinas cuyo par resistente crece con la velocidad, por ejemplo en los ventiladores.

Su inconveniente consiste en que la punta de corriente es relativamente importante durante el arranque. Es posible reducirla mediante el aumento del valor de la resistencia, pero esta medida conllevaría una caída de tensión adicional en las bornas del motor y, por tanto, una considerable reducción del par de arranque.

Por el contrario, la eliminación de la resistencia al finalizar el arranque se lleva a cabo sin interrumpir la alimentación la alimentación del motor y, por tanto, sin fenómenos transitorios.



4.4.- Arranque por autotransformador

El motor se alimenta a tensión reducida mediante un autotransformador que, una vez finalizado el arranque queda fuera del circuito.

El arranque se lleva a cabo en tres tiempos:

- En el primer tiempo, el autotransformador comienza por acoplarse en estrella y, a continuación, el motor se acopla a la red a través de una parte de los devanados del autotransformador. El arranque se lleva a cabo a una tensión reducida que se calcula en función de la relación de transformación. Generalmente el transformador está dotado de tomas que permiten seleccionar la relación de transformación y, por tanto, el valor más adecuado de la tensión reducida.
- Antes de pasar al acoplamiento a plena tensión, la estrella se abre. En ese momento, la fracción de bobinado conectada a la red crea una inductancia en serie con el motor. Esta operación se realiza cuando se alcanza la velocidad de equilibrio al final del primer tiempo.
- El acoplamiento a plena tensión interviene a partir del segundo tiempo, normalmente muy corto (una fracción de segundo). Las inductancias en serie con el motor se cortocircuitan y, a continuación, el autotransformador queda fuera del circuito.

La corriente y el par de arranque varían en la misma proporción. Se dividen por $\left(\frac{U_{red}}{U_{reducida}}\right)^2$ y

se obtienen los valores siguientes:

$$I_{arr} = 1,4 \text{ a } 4 I_n$$

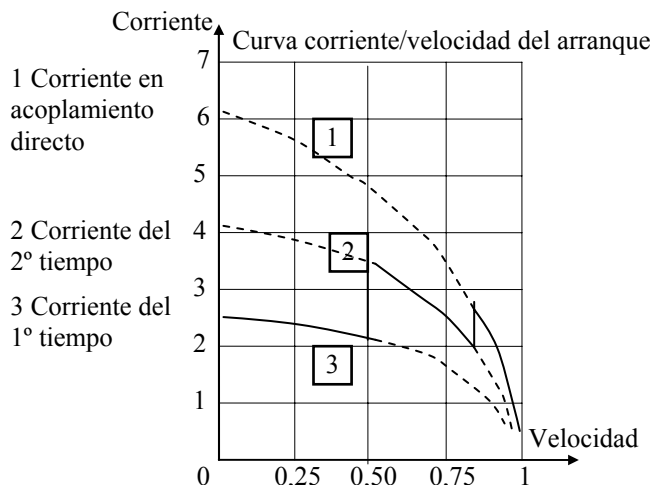
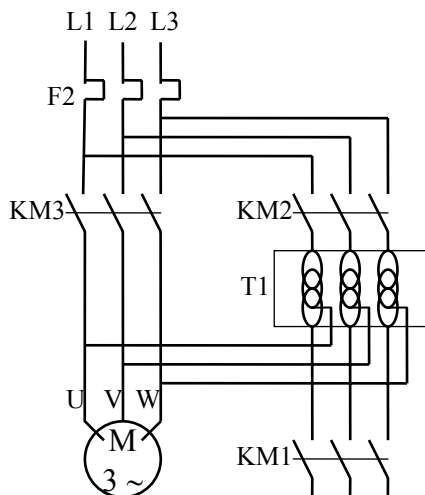
$$M_{arr} = 0,5 \text{ a } 0,85 M_n$$

El arranque se lleva a cabo sin interrupción de corriente en el motor, lo que evita que se produzcan fenómenos transitorios. No obstante, si no se toman ciertas precauciones pueden aparecer fenómenos transitorios de igual naturaleza durante el acoplamiento a plena tensión.

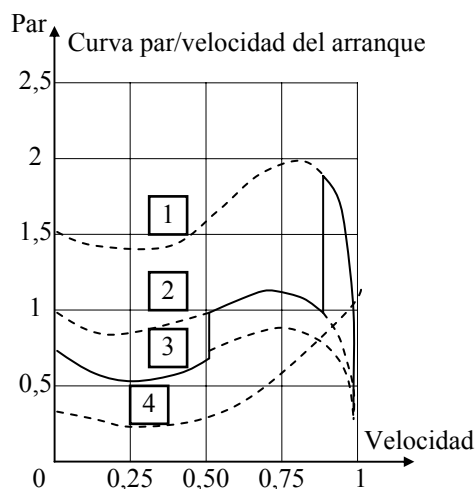
De hecho, el valor de la inductancia en serie con el motor tras la apertura de la estrella es importante si se compara con la del motor. Como consecuencia, se produce una caída de tensión considerable que acarrea una punta de corriente transitoria elevada en el momento del acoplamiento a plena tensión.

El circuito magnético del autotransformador incluye un entrehierro que disminuye el valor de la inductancia para paliar este problema. Dicho valor se calcula de modo que, al abrirse la estrella en el segundo tiempo, no haya variación de tensión en las bornas del motor. El entrehierro aumenta la corriente magnetizante del autotransformador. Dicha corriente aumenta la corriente solicitada en la red durante el primer tiempo del arranque.

Este modo de arranque suele utilizarse en los motores con potencia superior a 100 kW. Sin embargo, el precio de los equipos es relativamente alto debido al elevado coste del autotransformador.



- 1 Par motor (directo)
- 2 Par del 2º tiempo
- 3 Par del 1º tiempo
- 4 Par resistente de la máquina



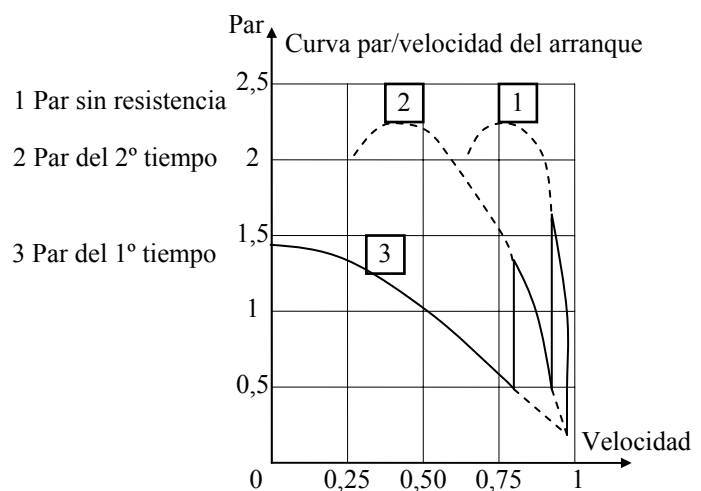
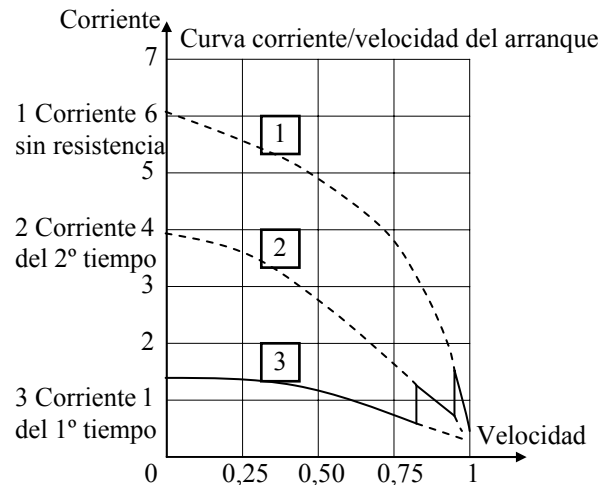
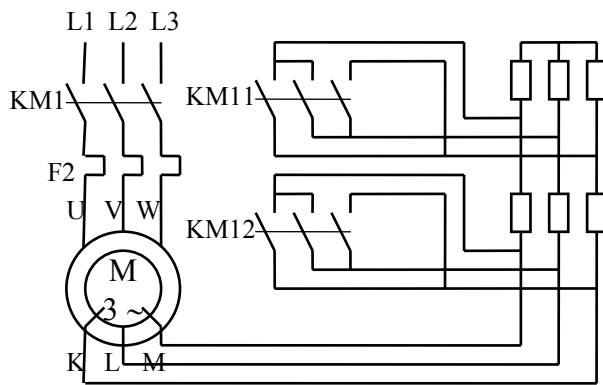
4.5.- Arranque de los motores de rotor bobinado

Un motor de anillos no puede arrancar en directo (devanados rotóricos cortocircuitados) sin provocar puntas de corriente inadmisibles. Es necesario insertar en el circuito rotórico resistencias que se cortocircuiten progresivamente, al tiempo que se alimenta el estator a toda la tensión de red.

El cálculo de la resistencia insertada en cada fase permite determinar con rigor la curva de par-velocidad resultante; para un par dado, la velocidad es menor cuanto mayor sea la resistencia. Como resultado, la resistencia debe insertarse por completo en el momento del arranque y la plena velocidad se alcanza cuando la resistencia está completamente cortocircuitada.

La corriente absorbida es prácticamente proporcional al par que se suministra. Como máximo, es ligeramente superior a este valor teórico.

El motor de anillos con arranque rotórico se impone, por tanto, en todos los casos en los que las puntas de corriente deben ser débiles y cuando las máquinas deben arrancar a plena carga. Por lo demás, este tipo de arranque es sumamente flexible, ya que resulta fácil adaptar el número y el aspecto de las curvas que representan los tiempos sucesivos a los requisitos mecánicos o eléctricos (par resistente, valor de aceleración, punta máxima de corriente, etc.).



4.6.- Arranque electrónico

La alimentación del motor durante la puesta en tensión se realiza mediante una subida progresiva de la tensión, lo que posibilita un arranque sin sacudidas y reduce la punta de corriente. Para obtener este resultado, se utiliza un graduador de tiristores montados en oposición de dos por dos en cada fase de la red.

La subida progresiva de la tensión de salida puede controlarse por medio de la rampa de aceleración, que depende del valor de la corriente de limitación, o vincularse a ambos parámetros.

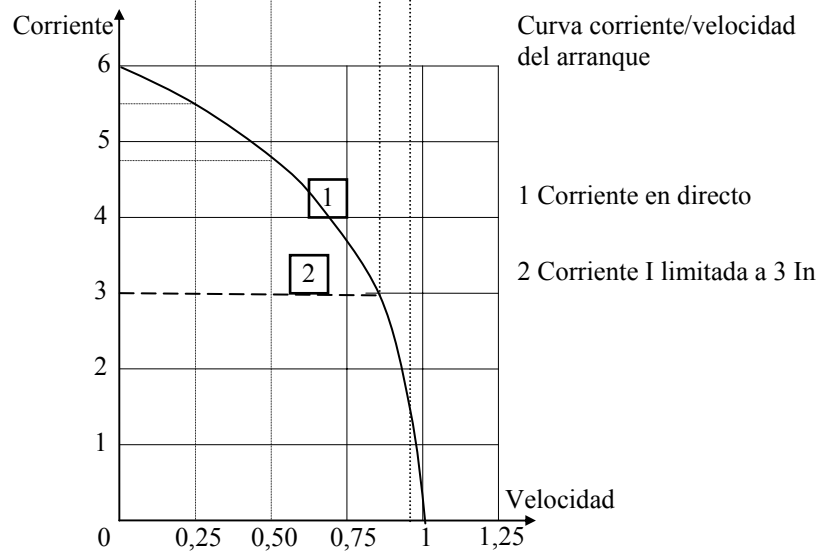
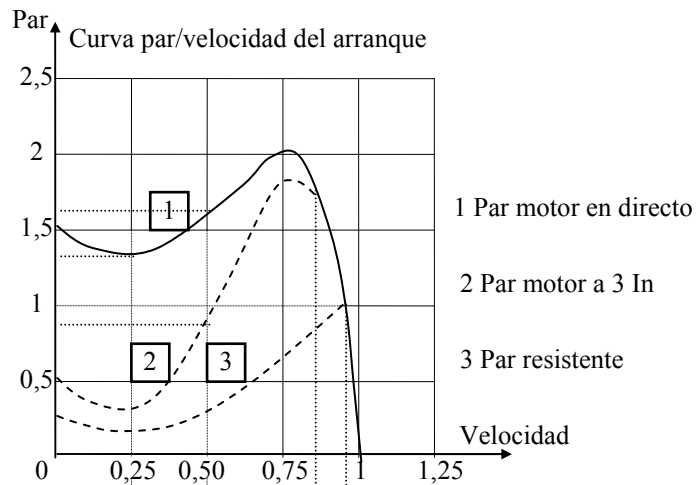
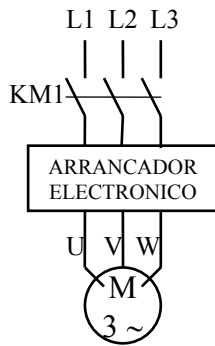
Un arrancador ralentizador progresivo es un graduador de seis tiristores que se puede utilizar para arrancar y parar de manera controlada los motores trifásicos de jaula, y garantiza:

- El control de las características de funcionamiento, principalmente durante los periodos de arranque y parada.
- La protección térmica del motor y del arrancador.
- La protección mecánica de la máquina accionada, mediante la supresión de las sacudidas de par y la reducción de la corriente solicitada.

La corriente puede regularse de 2 a 5 I_n , lo que proporciona un par de arranque regulable entre 0,1 y 0,7 del par de arranque en directo.

Permite arrancar todo tipo de motores asíncronos. Puede cortocircuitarse para arrancar por medio de un contactor y mantener al mismo tiempo el dominio del circuito de control. A todo esto hay que añadir la posibilidad de:

- ◇ Deceleración progresiva.
- ◇ Parada frenada.



DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

El ensayo pretende analizar los arranques de los motores de inducción en los siguientes casos:

- Arranque directo.
- Arranque estrella-triángulo.
- Arranque por resistencias rotóricas.
- Arranque electrónico.

Para el ensayo del arranque en directo, el arranque estrella triángulo y el arranque electrónico utilizaremos un motor trifásico de jaula de ardilla y para el arranque con resistencias rotóricas se utilizará un motor trifásico de rotor bobinado.

En cada uno de los ensayos se tomará nota del valor de las corrientes, tanto de la punta de arranque como de la de régimen permanente.

Teniendo en cuenta que en cada arranque se produce una punta de corriente, la máquina sufrirá un calentamiento que podría dañar los aislamientos del motor, por lo que habrá que tener presente, que cada ensayo debe ser precedido de un intervalo de tiempo de reposo.

EQUIPO NECESARIO

- Motor de jaula de ardilla de las siguientes características:

■ Potencia:	kW	- Tensión:	/	V
■ Revoluciones:	r.p.m.	- Intensidad:	/	A
■ Frecuencia:	50 Hz	- $\cos \varphi$:		0,8
- Motor de rotor bobinado de las siguientes características:

■ Potencia:	kW	- Tensión:	/	V
■ Revoluciones:	r.p.m.	- Intensidad:	/	A
■ Frecuencia:	50 Hz	- $\cos \varphi$:		0,8
- Equipos de control de arranque para:
 - Arranque directo.
 - Arranque estrella-triángulo.
 - Arranque por resistencias rotóricas.
 - Arranque electrónico.
- 1 Voltímetro
- 2 Amperímetros
- Reostato

REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

Se realizarán los arranques siguientes:

- Arranque directo.
- Arranque estrella-triángulo.
- Arranque por resistencias rotóricas.
- Arranque electrónico.

Para ello se tendrán en cuenta los esquemas eléctricos del circuito de fuerza y de maniobra que se representan a continuación y se realizará el montaje en cada caso. Antes de iniciar el montaje y durante el montaje del circuito de fuerza y de maniobra se comprobará que la alimentación eléctrica está desconectada.

En los esquemas de montaje y desarrollo de la práctica, se relaciona el material necesario de los distintos equipos de control del arranque y se describe brevemente las secuencias de funcionamiento del circuito de potencia y de maniobra.

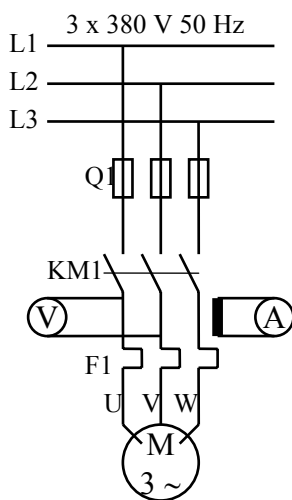
En cada uno de los ensayos se tomará nota del valor de las corrientes, tanto de la punta de arranque como de la de régimen permanente y se anotarán en los cuadros del resumen.

Al final se extraerán las conclusiones pertinentes de comparar los diferentes métodos de arranque.

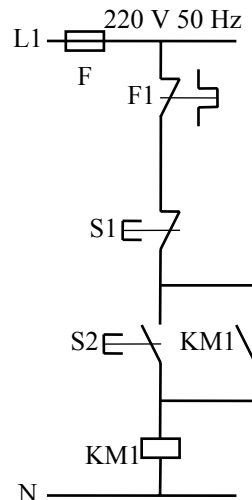
Esquemas de montaje y desarrollo de la práctica

Arranque directo

Circuito de fuerza



Circuito de mando



Material necesario

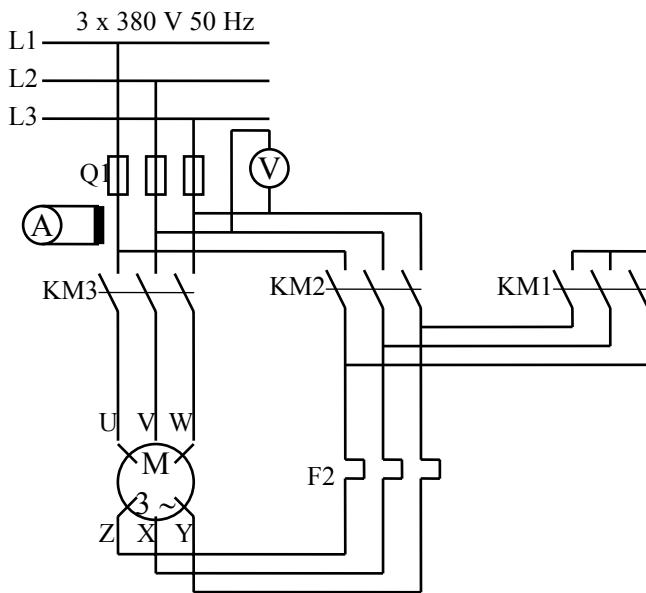
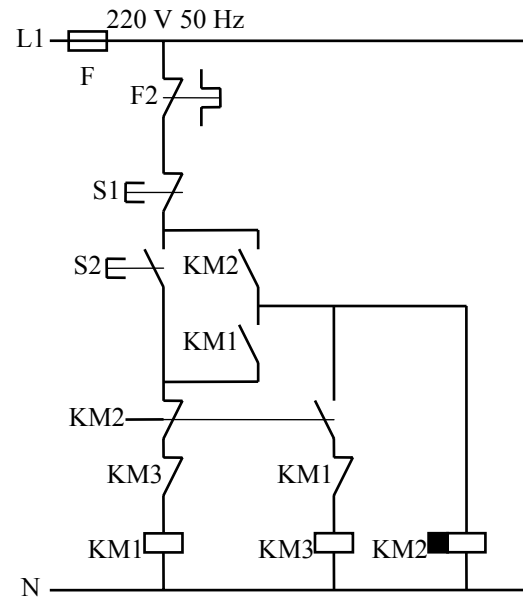
- Q1 ≡ Seccionador portafusibles
- KM1 ≡ Contactor
- F1 ≡ Relé de protección térmica
- F ≡ Fusible mando
- S1 ≡ Pulsador de paro
- S2 ≡ Pulsador de marcha

Funcionamiento del circuito de potencia:

Cierre manual del seccionador Q1.
Cierre del contactor KM1. Arranca el motor.

Funcionamiento del circuito de mando:

Accionando el pulsador S2 se cierra contactor KM1 y arranca el motor.
Automantenimiento por KM1.
Parada al accionar el pulsador S1 o por disparo del relé de protección térmica.

Arranque estrella triángulo***Circuito de fuerza******Circuito de mando******Material necesario***

Q1 ≡ Seccionador portafusibles

KM1 ≡ Contactor

KM2 ≡ Contactor + bloque de contactos temporizados al accionamiento

KM3 ≡ Contactor

F2 ≡ Relé de protección térmica

F ≡ Fusible mando

S1 ≡ Pulsador de paro

S2 ≡ Pulsador de marcha

Funcionamiento del circuito de potencia:

Cierre manual del seccionador Q1.

Cierre del contactor KM1. Acoplamiento en estrella.

Cierre del contactor KM2. Alimentación del motor.

Apertura del contactor KM1. Eliminación del acoplamiento en estrella.

Cierre del contactor KM3. Acoplamiento en triángulo.

Funcionamiento del circuito de mando:

Accionando el pulsador S2 se cierra el contactor KM1.

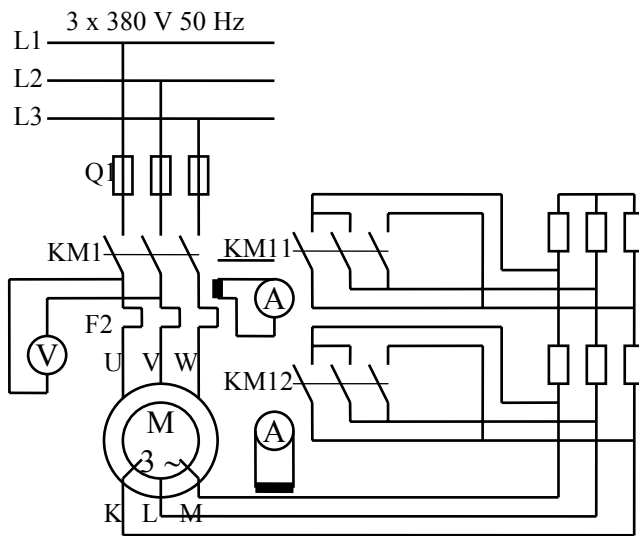
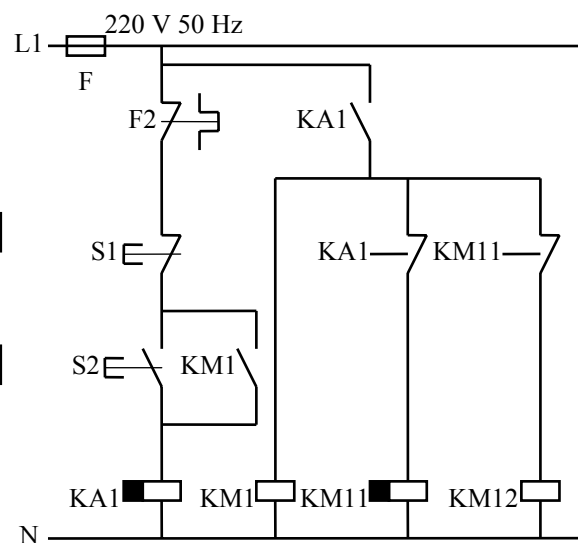
Cierre del contactor KM2 por KM1.

Automantenimiento de KM1-KM2 por KM2.

Apertura de KM1 por contacto temporizado de KM2.

Cierre de KM3 por KM1 y KM2.

Parada al accionar el pulsador S1 o por disparo del relé de protección térmica.

Arranque de los motores de rotor bobinado***Circuito de fuerza******Circuito de mando*****Material necesario**

Q1 ≡ Seccionador portafusibles

KM1 ≡ Contactor

KA1 ≡ Contactor auxiliar + bloque de contactos temporizados al accionamiento

KM11 ≡ Contactor + bloque de contactos temporizados al accionamiento

KM12 ≡ Contactor

F2 ≡ Relé de protección térmica

F ≡ Fusible mando

S1 ≡ Pulsador de paro

S2 ≡ Pulsador de marcha

Funcionamiento del circuito de potencia:

Cierre manual del seccionador Q1.

Cierre del contactor KM1. Puesta bajo tensión del motor.

Cierre del contactor KM11. Cortocircuitado de una parte de la resistencia. Aceleración.

Cierre del contactor KM12. Cortocircuitado total de la resistencia. Fin del arranque.

Funcionamiento del circuito de mando:

Accionando el pulsador S2 se cierra el contactor KA1.

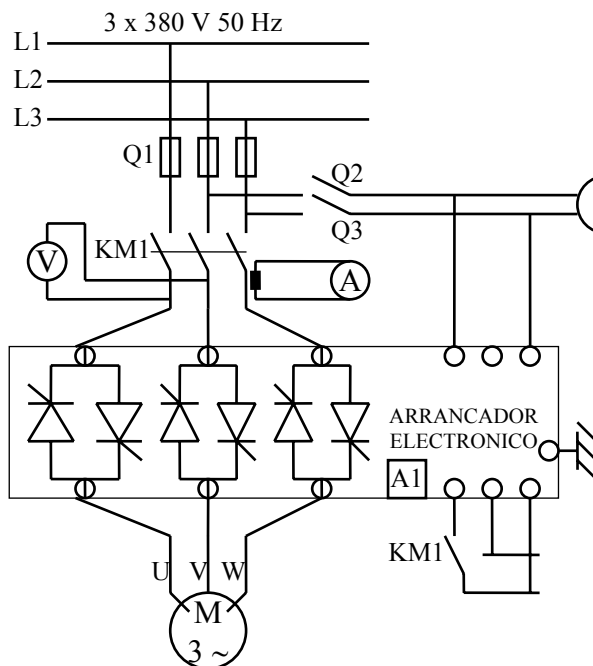
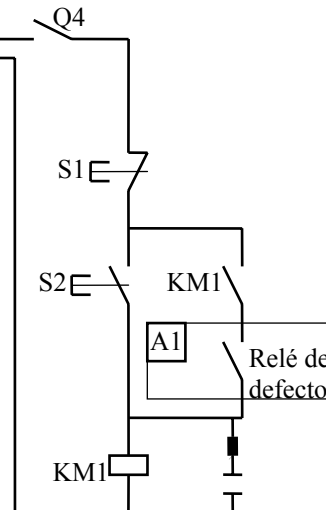
Cierre del contactor KM1.

Automantenimiento de KA1 por KM1.

Cierre de KM11 por contacto temporizado de KA1.

Cierre de KM12 por contacto temporizado de KM11.

Parada al accionar el pulsador S1 o por disparo del relé de protección térmica.

Arranque electrónico**Circuito de fuerza****Circuito de mando****Material necesario**

- Q1 ≡ Seccionador portafusibles
- KM1 ≡ Contactor
- A1 ≡ Arrancador electrónico
- Q2, Q3, Q4 ≡ Disyuntores mando
- S1 ≡ Pulsador de paro
- S2 ≡ Pulsador de marcha

Funcionamiento del circuito de potencia:

Cierre manual del seccionador Q1.

Cierre del contactor KM1. KM1 pone al arrancador electrónico bajo tensión y un contacto auxiliar da la orden de marcha, por lo que el contactor no se activa a corriente elevada sino a corriente nula.

Funcionamiento del circuito de mando:

Accionando el pulsador S2 se cierra el contactor KM1.

Parada manual al accionar el pulsador S1 o automático, mediante el contacto del relé de defecto de A1.

RESULTADOS

Arranque directo (Ruleta freno 40%)				
Ensayo Nº	Arranque		Régimen permanente	
	<i>Voltímetro</i>	<i>Amperímetro</i>	<i>Voltímetro</i>	<i>Amperímetro</i>
	V	A	V	A

Arranque estrella-triángulo					
Ensayo Nº	Arranque			Régimen permanente	
	<i>Voltímetro</i>	<i>Amperímetro</i>	<i>Voltímetro</i>	<i>Amperímetro</i>	
	V	A	V	Línea	Fase

Arranque por resistencias rotóricas							
Ensayo Nº	Voltímetro V	Resistencia adicional rotórica Ω Pos.		Arranque		Régimen permanente	
				<i>Amperímetro 1</i>	<i>Amperímetro 2</i>	<i>Amperímetro 1</i>	<i>Amperímetro 2</i>
				A	A	A	A

Arranque electrónico (Ruleta freno 10%)				
Ensayo Nº	Arranque		Régimen permanente	
	<i>Voltímetro</i>	<i>Amperímetro</i>	<i>Voltímetro</i>	<i>Amperímetro</i>
	V	A	V	A

Conclusiones:

ANEXO