

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE  
SAN ANDRÉS TÚXTLA, VER.**

**DIVISIÓN DE MECATRÓNICA**

**DOCENTE: JUAN MERLIN CHONTAL**

**MATERIA: MAQUINAS ELECTRICAS**



**“511-B” AGO-DIC 2025**

**EVIDENCIAS UNIDAD 4**



**ALUMNO: BRIANA PAOLA MIGUELES LÓPEZ**

**SAN ANDRÉS TUXTLA, VER. 12/DIC/2025**

## **Arranque de los motores de inducción**

El motor de inducción, al conectarse a la red eléctrica, presenta una corriente de arranque elevada, que puede ser entre 5 y 8 veces la corriente nominal. Esto ocurre porque, al inicio, el rotor está detenido y el deslizamiento es máximo. Si no se controla adecuadamente, esta corriente puede provocar caídas de tensión, sobrecalentamiento y esfuerzos mecánicos en el eje y en la carga.

El arranque directo a línea es el método más simple y económico. Consiste en conectar el motor directamente a la red eléctrica, permitiendo que alcance rápidamente su velocidad nominal. Sin embargo, solo se recomienda para motores de baja potencia o cuando la red puede soportar la corriente elevada.

Para reducir la corriente de arranque, se emplean métodos de arranque a voltaje reducido. El arranque estrella-triángulo conecta inicialmente el motor en estrella, disminuyendo el voltaje aplicado a cada devanado, y posteriormente lo conmuta a triángulo cuando el motor ya ha ganado velocidad. Este método es común en motores trifásicos de potencia media. Otro método es el arranque con autotransformador, que permite seleccionar distintos niveles de voltaje durante el arranque, logrando un mejor control del par inicial.

En aplicaciones más avanzadas se utilizan arrancadores suaves, los cuales controlan gradualmente el voltaje mediante dispositivos electrónicos de potencia. Esto reduce la corriente de arranque y evita golpes mecánicos, siendo ideales para bombas, ventiladores y bandas transportadoras.

## **Control de velocidad de los motores de inducción**

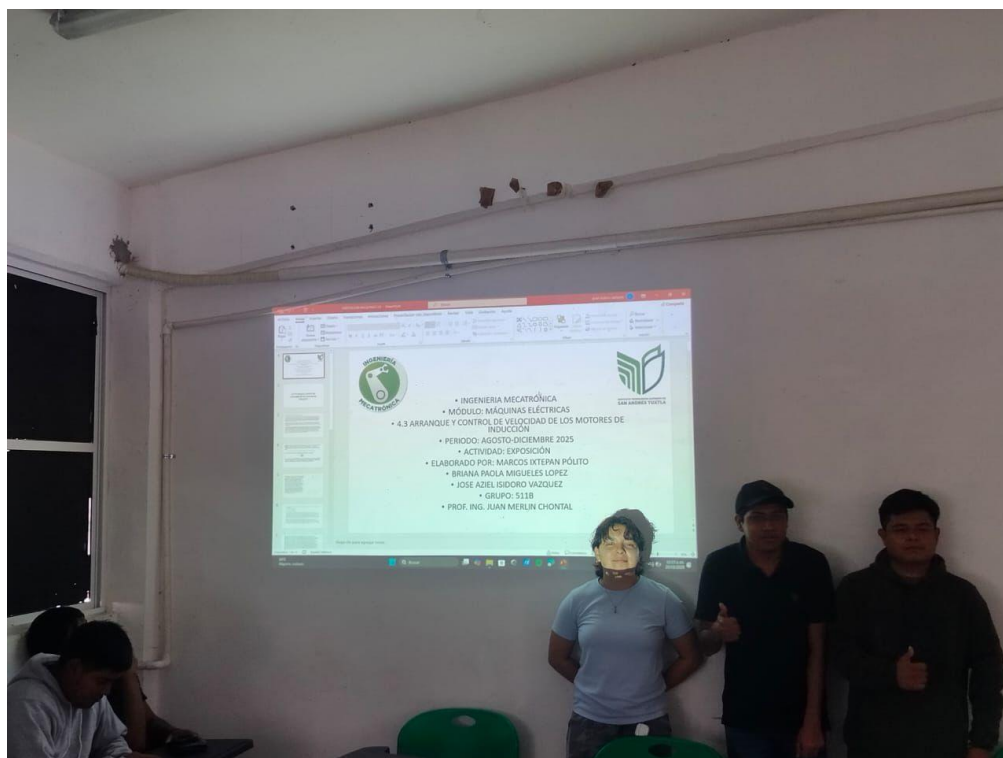
La velocidad de un motor de inducción está relacionada con la velocidad síncrona, la cual depende de la frecuencia de la red y del número de polos del motor. En condiciones normales, el motor gira ligeramente por debajo de esta velocidad debido al deslizamiento.

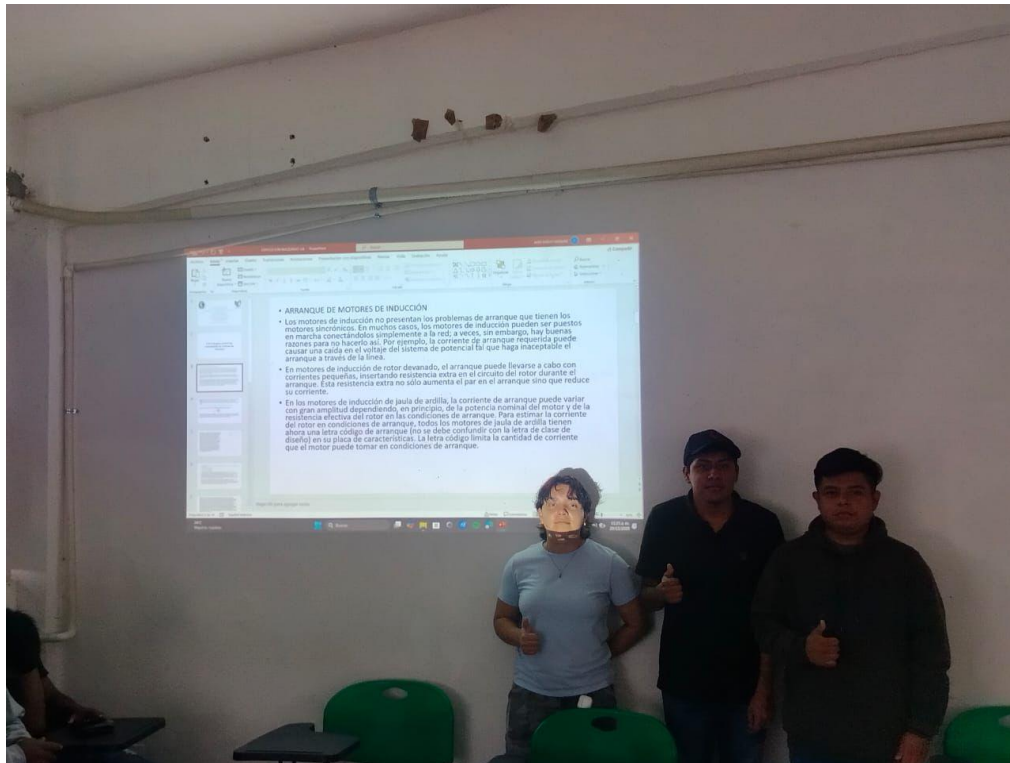
El método más eficiente y utilizado para el control de velocidad es el control por variación de frecuencia, realizado mediante variadores de frecuencia (VFD). Estos dispositivos convierten la energía eléctrica de entrada y entregan una señal con frecuencia y voltaje variables al motor, permitiendo un control preciso de la velocidad y el par. Además, los VFD mejoran la eficiencia energética, reducen el desgaste mecánico y permiten funciones como arranque y paro suaves, inversión de giro y protección del motor.

Otros métodos de control de velocidad incluyen la variación del voltaje del estator, que solo es efectivo en cargas ligeras, y la variación de la resistencia del rotor, aplicable únicamente a motores de rotor devanado. Aunque estos métodos son más simples, presentan mayores pérdidas y menor eficiencia.

### **Ventajas del correcto arranque y control de velocidad**

Un adecuado sistema de arranque y control de velocidad permite optimizar el consumo de energía, proteger el motor y los equipos acoplados, y mejorar la productividad del sistema. Por esta razón, en la industria moderna se prefiere el uso de variadores de frecuencia y arrancadores electrónicos frente a métodos tradicionales.







- INGENIERIA MECATRÓNICA
- MÓDULO: MÁQUINAS ELÉCTRICAS
- 4.3 ARRANQUE Y CONTROL DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN
- PERIODO: AGOSTO-DICIEMBRE 2025
- ACTIVIDAD: EXPOSICIÓN
- LABORADO POR: MARCOS IXTEPAN PÓLITO
  - BRIANA PAOLA
  - JOSE AZIEL ISIDORO VAZQUEZ
  - GRUPO: 511B
- PROF. ING. JUAN MERLIN CHONTAL

- ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN
- Los motores de inducción no presentan los problemas de arranque que tienen los motores sincrónicos. En muchos casos, los motores de inducción pueden ser puestos en marcha conectándolos simplemente a la red; a veces, sin embargo, hay buenas razones para no hacerlo así. Por ejemplo, la corriente de arranque requerida puede causar una caída en el voltaje del sistema de potencial tal que haga inaceptable el arranque a través de la línea.
- En motores de inducción de rotor devanado, el arranque puede llevarse a cabo con corrientes pequeñas, insertando resistencia extra en el circuito del rotor durante el arranque. Esta resistencia extra no sólo aumenta el par en el arranque sino que reduce su corriente.
- En los motores de inducción de jaula de ardilla, la corriente de arranque puede variar con gran amplitud dependiendo, en principio, de la potencia nominal del motor y de la resistencia efectiva del rotor en las condiciones de arranque. Para estimar la corriente del rotor en condiciones de arranque, todos los motores de jaula de ardilla tienen ahora una letra código de arranque (no se debe confundir con la letra de clase de diseño) en su placa de características. La letra código limita la cantidad de corriente que el motor puede tomar en condiciones de arranque.
- Para determinar la corriente de arranque de un motor de inducción, lea el voltaje nominal, la potencia nominal y la letra código en su placa de características. Entonces la potencia aparente de arranque para el motor será

$$S_{start} = (\text{potencia nominal en caballos de fuerza})(\text{factor de letra código})$$

- la corriente de arranque se puede encontrar de la ecuación

$$I_L = \frac{S_{start}}{\sqrt{3}V_T}$$

- Si es necesario, se puede reducir la corriente de arranque de un motor de inducción mediante un circuito de arranque. Sin embargo, al realizar esta operación también se reducirá el par de arranque del motor.

- **Circuitos de arranque de motores de inducción** En la figura 7-36 se muestra un circuito típico de arranque a voltaje pleno o directo a través de la línea en un motor de inducción y, en la figura 7-37 se explica el significado de los símbolos utilizados en aquella. La operación de este circuito es muy simple. Cuando se presiona el botón de arranque, la bobina del relé (o contactor) M se energiza y se cierran los contactos normalmente abiertos M1, M2 Y M3. Cuando se cierran estos contactos, se aplica potencia al motor de inducción y éste arranca. El contacto M4 se cierra también cortocircuitando el interruptor de arranque y permitiendo que el operario lo libere sin que se quite el suministro de potencia al relé M. Cuando se presiona el botón de parada, se desenergiza el relé M, se abren los contactos M, y se detiene el motor.

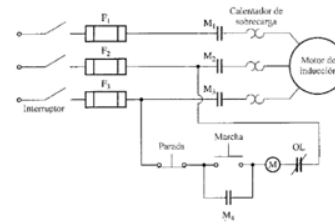


Figura 7-36  
Arrancador típico directo a través de la línea en un motor de inducción.

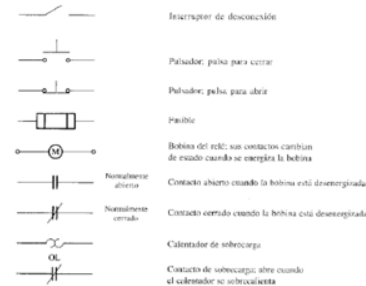


Figura 7-37  
Componentes típicos encontrados en circuitos de control de motores de inducción.

- **CONTROL DE VELOCIDAD EN MOTORES DE INDUCCIÓN** Hasta la llegada de los modernos controladores de estado sólido, los motores de inducción no eran las máquinas adecuadas para aplicaciones que requerían considerable control de velocidad. El rango normal de operación de un motor de inducción típico (clases de diseño A, B y C) está confinado a menos de 5% de deslizamiento y la variación de velocidad en ese rango es más o menos directamente proporcional a la carga sobre el eje del motor. Aun si el deslizamiento fuera mayor, la eficiencia del motor sería muy pobre puesto que las pérdidas en el cobre del rotor son directamente proporcionales al deslizamiento del motor (recuérdese que  $P_{ROT} = sP_{AG}$ )

- En motores de este tipo, un circuito arrancador magnético tiene varios elementos de protección incorporados:
- 1. Protección de cortocircuito
- 2. Protección de sobrecarga
- 3. Protección de bajo voltaje
- La protección de cortocircuito para el motor está provista por los fusibles F1, F2 Y F3. Si se presenta un cortocircuito repentino dentro del motor y causa un flujo de corriente muchas veces mayor que la corriente nominal, los fusibles se funden y desconectan el motor de la fuente de potencia para evitar que se queme por completo. Sin embargo, dado que los fusibles no se deben quemar durante el arranque normal del motor, deben ser diseñados para cumplir los requerimientos de corrientes muchas veces mayores que la corriente de plena carga, antes que abran el circuito. Esto significa que los cortocircuitos a través de una alta resistencia o las cargas excesivas para el motor no serán evitados por los fusibles.
- La protección de sobrecarga para el motor está provista por los dispositivos marcados OL en la figura. Estos elementos de protección de sobrecarga constan de dos partes, un elemento calefactor por sobrecarga y sus contactos. Bajo condiciones normales, los contactos de sobrecarga están cerrados. Sin embargo, cuando se eleva suficientemente la temperatura del calefactor de sobrecarga, se abren los contactos OL y se desenergiza el relé M que, a su vez, abre los contactos M normalmente abiertos y quita el suministro de potencia al motor.



- Existen sólo dos técnicas para controlar la velocidad de un motor de inducción, una de las cuales consiste en variar la velocidad sincrónica (velocidad de los campos magnéticos del rotor y del estator) puesto que la velocidad del rotor siempre permanece cerca de  $n_{sinc}$ .
- La otra técnica consiste en variar el deslizamiento del motor para una carga dada. Cada una de estas técnicas se explicará en detalle más adelante. La velocidad sincrónica de un motor de inducción está dada por: 
$$n_{sinc} = \frac{120f_e}{p}$$
- Por tanto las únicas formas en que se puede variar la velocidad sincrónica de la máquina son: 1) cambiando la frecuencia eléctrica y 2) cambiando el número de polos de la máquina. El control del deslizamiento puede ser llevado a cabo bien sea variando la resistencia del rotor o variando el voltaje en los terminales del motor

- Por tanto las únicas formas en que se puede variar la velocidad sincrónica de la máquina son: 1) cambiando la frecuencia eléctrica y 2) cambiando el número de polos de la máquina. El control del deslizamiento puede ser llevado a cabo bien sea variando la resistencia del rotor o variando el voltaje en los terminales del motor.
- Control de velocidad del motor de inducción mediante el cambio de polos. Existen dos métodos importantes para cambiar el número de polos en un motor de inducción:
  1. El método de polos consecuentes.
  2. Devanados de estator múltiples. El método de polos consecuentes para controlar la velocidad es bastante antiguo. Desarrollado originalmente en 1897, se basa en el hecho de que el número de polos en los devanados estatóricos de un motor de inducción se puede cambiar con facilidad en relación 2:1 con sólo efectuar simples cambios en la conexión de las bobina. La figura 7-39 muestra un estator de motor de inducción sencillo de dos polos adecuado para cambio de polos. Nótese que las bobinas individuales son de muy corto paso ( $60^\circ$  a  $90^\circ$ ). La figura 7-40 muestra la fase a de los devanados por separado para mayor claridad en el detalle.

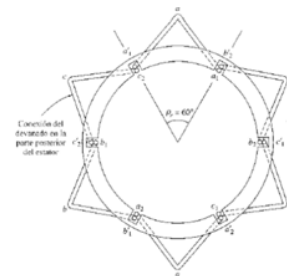


Figura 7-39  
Devanado estatórico de dos polos para cambio de polos. Nótese el paso tan pequeño en el rotor de estos devanados.

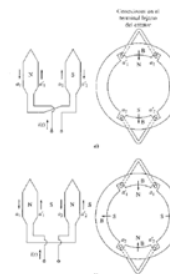


Figura 7-40

## Control de velocidad mediante el cambio de la frecuencia de la línea

- Si se cambia la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos cambiará en proporción directa al cambio de frecuencia eléctrica, y el  $n_{sinc}$  de vacío sobre la curva característica par-velocidad cambiará con ella (vease figura 7-42). La velocidad sincrónica del motor en condiciones nominales se conoce como velocidad base. Utilizando control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base. Un controlador de frecuencia variable para motor de inducción, diseñado adecuadamente, puede ser muy flexible y puede controlar la velocidad de un motor de inducción sobre un rango de velocidad que va desde el tan pequeño de 5% de la velocidad base hasta cerca del doble de ésta. Sin embargo, es importante mantener ciertos límites de voltaje y par sobre el motor cuando varía la frecuencia para asegurar una operación confiable. Cuando se opera a velocidades inferiores a la velocidad base del motor, es necesario reducir el voltaje aplicado a los terminales del estator para obtener una operación adecuada. El voltaje aplicado a los terminales del estator deberá disminuir linealmente con la disminución de la frecuencia en él. Este proceso se llama degradación (derating). Si esto no se hace, se saturará el acero del núcleo del motor de inducción y fluirán corrientes de magnetización excesivas en la máquina.

## Descripción del motor

Un motor de inducción monofásico de 1 HP es una máquina eléctrica diseñada para convertir energía eléctrica en energía mecánica, alimentándose con corriente alterna monofásica, comúnmente utilizada en instalaciones domésticas y pequeños talleres.

Este tipo de motor está compuesto principalmente por un estator, que contiene los devanados alimentados con voltaje monofásico, y un rotor, generalmente del tipo jaula de ardilla, en el cual se inducen corrientes debido al campo magnético generado en el estator. Como el suministro es monofásico, el motor no es autoarrancable, por lo que incorpora un sistema de arranque, que puede ser mediante un devanado auxiliar con capacitor de arranque, capacitor permanente o interruptor centrífugo, con el fin de generar un campo magnético giratorio inicial.

Un motor monofásico de 1 HP ( $\approx 746$  W) suele operar a tensiones de 110–127 V o 220–240 V, con velocidades nominales cercanas a 1,700 rpm o 3,400 rpm, dependiendo del número de polos y la frecuencia de la red (60 Hz). Su eficiencia y factor de potencia son menores en comparación con motores trifásicos, pero ofrece una construcción robusta, bajo costo y fácil mantenimiento.







### Cuadro comparativo de motor universal, motor de polos sombreados, motor de pasos y servomotor

| Característica                     | Motor universal                                                 | Motor de polos sombreados                                     | Motor de pasos                                            | Servomotor                                                    |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de alimentación</b>        | CA y CC                                                         | CA                                                            | CC (controlado electrónicamente)                          | CC (con control electrónico)                                  |
| <b>Principio de funcionamiento</b> | Similar a un motor serie, el campo y el inducido están en serie | Inducción con anillo sombreado que produce el campo giratorio | Movimiento por pasos discretos mediante pulsos eléctricos | Motor con sistema de realimentación (encoder o potenciómetro) |
| <b>Control de velocidad</b>        | Fácil, variando el voltaje                                      | Muy limitado                                                  | Preciso, por frecuencia de pulsos                         | Muy preciso mediante control PID                              |
| <b>Control de posición</b>         | No                                                              | No                                                            | Sí, por número de pasos                                   | Sí, con alta precisión                                        |
| <b>Par de arranque</b>             | Alto                                                            | Bajo                                                          | Medio                                                     | Alto                                                          |
| <b>Eficiencia</b>                  | Media                                                           | Baja                                                          | Media                                                     | Alta                                                          |
| <b>Precisión</b>                   | Baja                                                            | Baja                                                          | Alta                                                      | Muy alta                                                      |
| <b>Mantenimiento</b>               | Alto (escobillas)                                               | Muy bajo                                                      | Bajo                                                      | Bajo                                                          |
| <b>Costo</b>                       | Bajo                                                            | Muy bajo                                                      | Medio                                                     | Alto                                                          |
| <b>Ruido</b>                       | Alto                                                            | Bajo                                                          | Medio                                                     | Bajo                                                          |
| <b>Aplicaciones comunes</b>        | Taladros, licuadoras, aspiradoras                               | Ventiladores, extractores, relojes eléctricos                 | Impresoras, CNC, robots, 3D printers                      | Robótica, automatización, drones, control industrial          |
| <b>Ventaja principal</b>           | Alta velocidad y par                                            | Simplicidad y bajo costo                                      | Control preciso sin realimentación                        | Control preciso con realimentación                            |
| <b>Desventaja principal</b>        | Desgaste y ruido                                                | Bajo par y poca eficiencia                                    | Puede perder pasos                                        | Costo elevado                                                 |