

Arranque de Motores

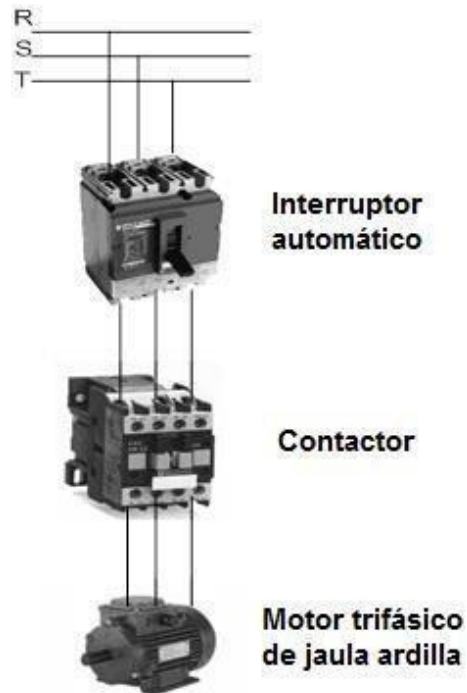


Figura 1: Arranque directo de un motor jaula

OBJETIVOS A LOGRAR:

- Reconocer la estructura física de las máquinas AC y máquinas DC.
- Implementar cableado e instrumentación para el arranque de máquinas AC y DC.
- Conocer las diferentes formas de arrancar los motores de inducción trifásicos y motores de corriente continua como método para limitar la corriente de arranque y sus efectos sobre el torque de arranque.
- Invertir el sentido de giro del motor eléctrico.
- Evaluar los parámetros de los motores con los diversos tipos arranque e identificar características o tendencias.

TEORIA:

La etapa de arranque de un motor eléctrico es el régimen transitorio en el que el motor eleva su velocidad hasta llegar a una velocidad estable y permanente. El conjunto que se pone en marcha o giro es inercial y disipativo, incluyendo las cargas acopladas al eje que son consumidoras de energía.

La elección correcta de las características de los motores eléctricos y arrancadores a instalar están basados en el conocimiento de las particularidades de éste régimen transitorio. El comportamiento dinámico del conjunto motor-maquina accionada está regido por la siguiente ecuación diferencial:

$$\sum \text{Torques} = T_a = T_m - T_r = J_o \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

Donde T_a es el torque acelerante, T_m es el par motor, T_r el par resistente, J_o es el momento de inercia del conjunto motor–maquina accionada y ω es la velocidad angular de dicho conjunto.

Para que el conjunto comience a girar se necesita que el par motor supere al par resistente, de manera de generar una aceleración angular de arranque. El proceso de arranque finaliza cuando se equilibra el par motor con el par resistente, estabilizándose la velocidad de giro del motor.

El funcionamiento elemental de una máquina eléctrica elemental puede ser descrita por la interacción de un campo magnético constante B (llamado excitación) y una corriente la circulante en una bobina (Armadura) la cual produce la aparición de fuerzas coplanares y opuestas F ocasionando la producción de un torque T a una velocidad ω .

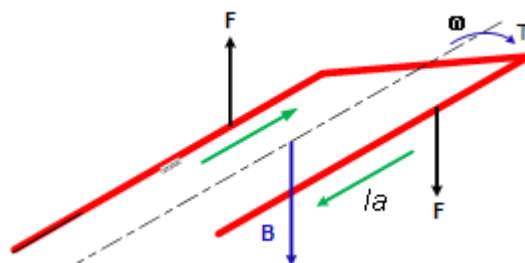


Figura 1a: Motor elemental

Las ecuaciones que gobiernan el funcionamiento de una máquina eléctrica rotativa en el estado de régimen permanente o estable están dadas por:

MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA

Modelo matemático:

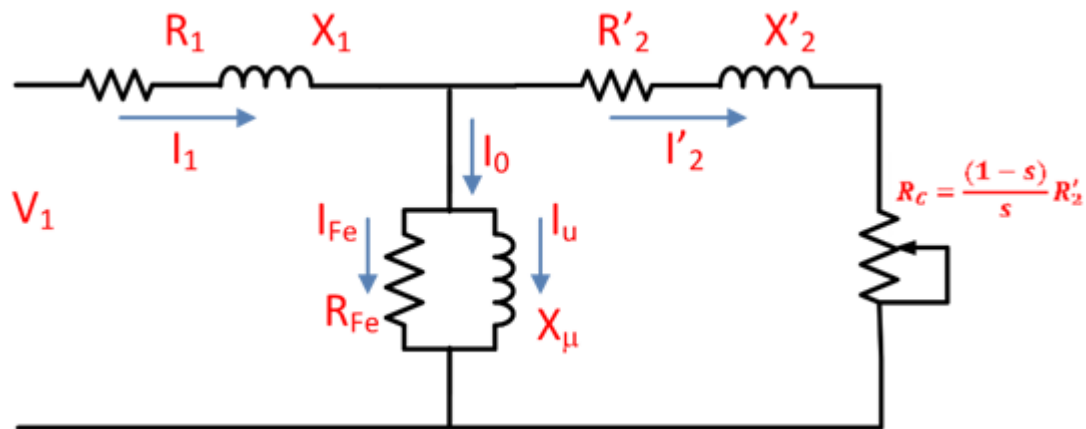


Figura 1b: Circuito Equivalente de un motor asíncrono

Ecuaciones de control:

Torque:

$$T_m = \frac{3R'_2}{\omega_s} \frac{V^2 s}{(sR_1 + R'_2)^2 + s^2(X_1 + X'_2)^2}$$

Corriente:

$$I_a = \frac{Vs}{\sqrt{(sR_1 + R'_2)^2 + s^2(X_1 + X'_2)^2}}$$

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

El modelo es similar al un transformador estático teniendo cada término el mismo significado, adicionalmente en el modelo del motor se considera la velocidad de sincronismo ω_s (velocidad a la que gira el campo magnético B) y el deslizamiento (s) que es una medida de cuanto ha disminuido la velocidad de giro el rotor del motor (ω) con respecto al campo magnético (ω_s)

MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Modelo matemático:

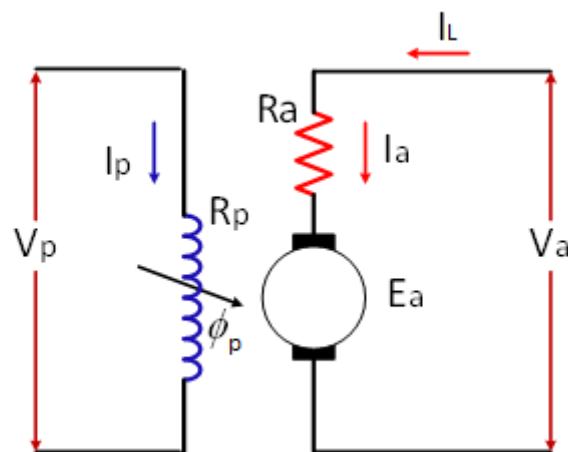


Figura 1c: Circuito Equivalente de un motor DC de excitación independiente

Ecuaciones de control:

Ecuación del flujo magnético

$$\Phi_p = K_\phi \Phi_p I_p$$

Ecuación de la tensión inducida

$$E_a = K_a \Phi_p \omega$$

Ecuación del torque producido

$$T = K_t \Phi_p I_a$$

Ecuación del circuito eléctrico

$$V_a = E_a + R_a I_a$$

En base a estas ecuaciones tan sólo manipulándolas (jugando) algebraicamente se puede determinar porque la corriente de arranque es elevada (5 a 7 veces la corriente nominal del motor de corriente alterna) y el torque de arranque (2-3 veces el torque nominal), porque el torque y la

corriente de arranque no depende de la carga, así como también, se puede encontrar las diferentes técnicas o métodos de reducir la corriente de arranque.

Igualmente, en el caso de los motores de corriente continua manipulando algebraicamente las ecuaciones de control porque la corriente y el torque es elevada, los métodos para limitar esta corriente y adicionalmente porque estos tipos de motores presentan el riesgo de embalsarse (adquirir una velocidad altísima) que puede conducir a su deterioro.

Por las características o principios de funcionamiento de los motores se generan corrientes elevadas en el inicio de la etapa de arranque y luego estas van disminuyendo hasta establecerse en un valor de operación estable y permanente igual a lo que sucede con la velocidad.

Los dispositivos de arranque pueden ser de operación manual, por contactores o con control electrónico. Los dos últimos permiten efectuar el mando a distancia del motor con cables de secciones pequeñas (sólo se requiere la corriente necesaria para la señal de control), lo que facilita el accionamiento y diseño del dispositivo de control por trabajar con intensidades reducidas.

ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Presentar la estructura física e identificar puntos de conexión y bobinados en los motores siguientes:
 - Motor asíncrono tipo MATJA.
 - Motor asíncrono tipo MATRB.
 - Motor de corriente continua.
2. Realizar el conexionado, configurar instrumentos y poner en operación cada equipo según el método de arranque.
3. Verificar parámetros mecánicos y eléctricos en el arranque.
4. Analizar los diversos tipos de arranque y su aplicación en cada equipo.

MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL LABORATORIO

- Amperímetros de panel de 1, 2.5, 5, 10 y 15 A.
- Multímetro Fluke.
- Vatímetro Yokogawa.
- Instrumentos de panel digital.

- Cables de conexión; Grupos de 4 tamaños y 4 colores 3 cables por cada grupo.
- Motor Jaula Ardilla de 1 Hp y 380 V.
- Motor Jaula Ardilla de 0.7 Hp y 380 V.
- Panel de arranque estrella - triángulo.
- Interruptor de arranque estrella - triángulo.
- Panel de arranque directo.
- Driver de arranque suave.
- Motor de corriente continua.
- Reóstato de arranque.
- Driver de arranque para motor DC.
- Motor de rotor bobinado.
- Reóstato trifásico.
- Equipo auxiliar que opera como carga.

PROCEDIMIENTO

El orden de los ensayos será determinado por los Jefes de práctica.

1. Arranque Directo del Motor Jaula de Ardilla

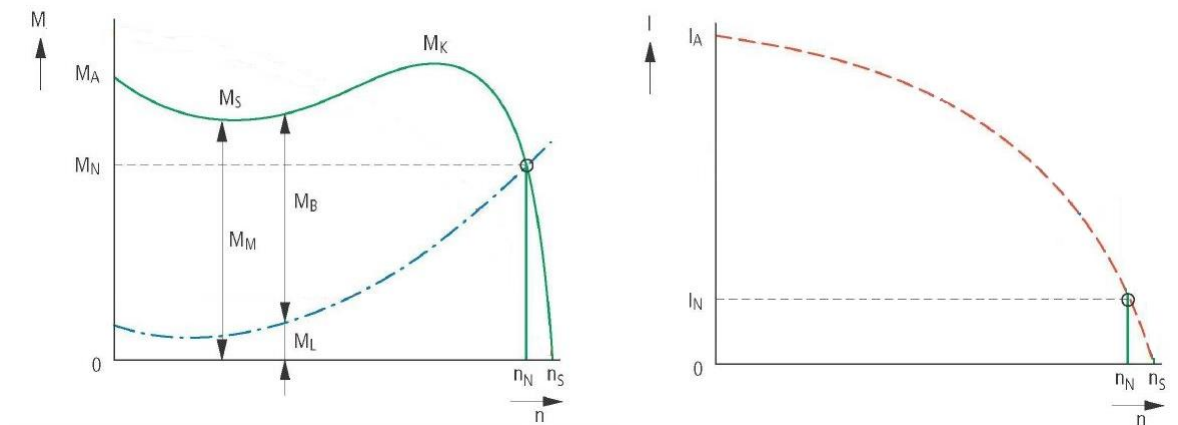


Figura 2: Torque y corriente vs velocidad en un Motor Jaula de Ardilla

- Esquema de conexión:

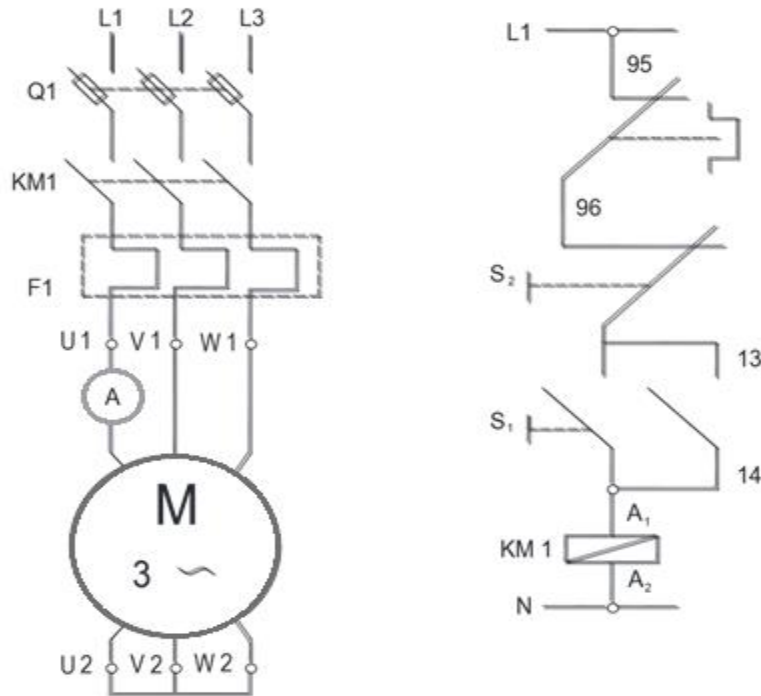


Figura 3: Arranque Directo en un Motor Jaula de Ardilla

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Completar los datos de la Tabla N°1 de acuerdo al arranque del motor.

Tabla N° 1. Motor asíncrono triásico de jaula de ardilla (arranque directo)					
Tensión de línea	Corriente de arranque leída	Corriente en vacío	Velocidad del rotor	Velocidad síncrona	Tiempo de arranque
V_L (V)	I_L (A)	I_0 (A)	N_R (R.P.M)	N_S (R.P.M)	(s)

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Qué sucede si el motor tiene un movimiento mecánico previo al instante de arranque?

¿Cómo se invierte el sentido de giro del motor eléctrico?

¿Qué sucede si se arranca el motor con carga, como cambian los parámetros?

Identificar los componentes del motor jaula.

2. Arranque Suave del Motor Jaula de Ardilla

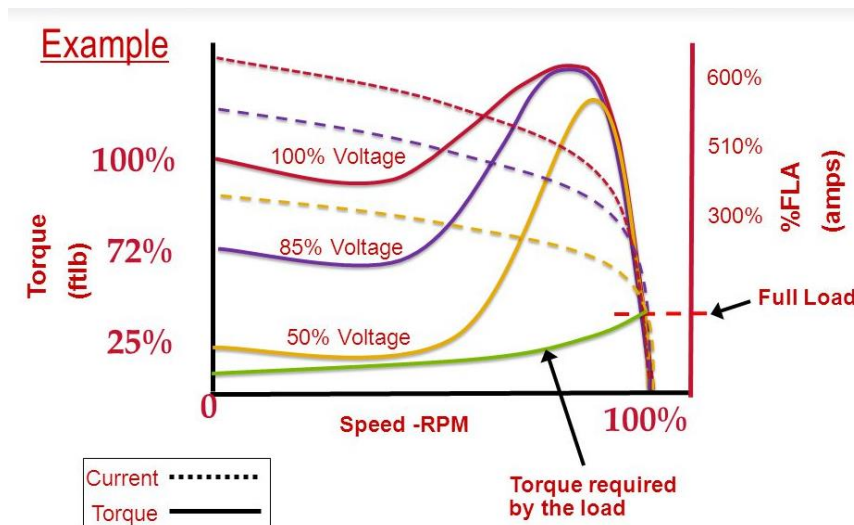


Figura 4: Torque y corriente vs velocidad con variación de la tensión en un Motor Jaula de Ardilla

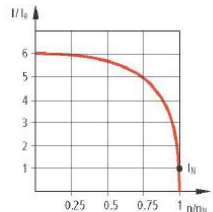
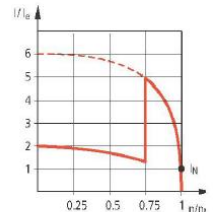
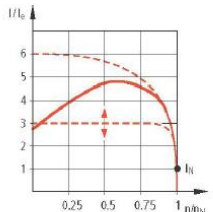
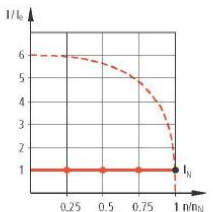
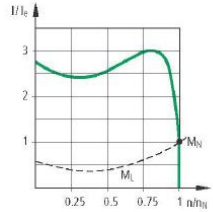
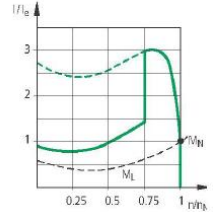
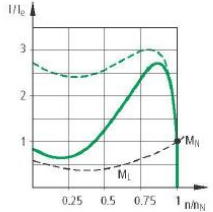
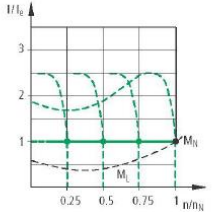
Carga en la red en el arranque	Alto	Medio	De bajo a medio	Bajo
Curva de intensidad				
Intensidad relativa en el arranque	4...8x I _e (Dependiendo del motor)	1,3...3x I _e (~ 1/3 comparado con un arranque directo)	2...6x I _e (Reducido por el control de la tensión)	≤1 (...2x) I _e (ajustable)
Curva de par				

Figura 5: Torque y corriente vs velocidad con arranque en función de la carga para Motor Jaula de Ardilla utilizando diversos arrancadores.

- Esquema de conexión:

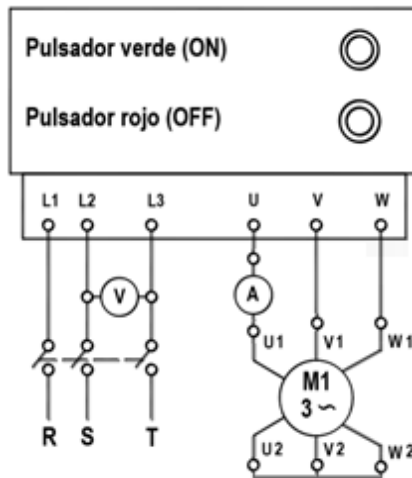


Figura 6: Arranque Suave de un Motor Jaula de Ardilla

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar datos de placa del arrancador electrónico.
- Completar los datos la Tabla N°2 de acuerdo al arranque del motor.

Tabla N° 2. Motor asíncrono triásico de jaula de ardilla (arranque suave)					
Tensión de línea	Corriente de arranque	Corriente en vacío	Velocidad del rotor	Velocidad síncrona	Tiempo de Arranque
V_L (V)	I_L (A)	I_0 (A)	N_R (R.P.M)	N_S (R.P.M)	(s)

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Qué diferencias sensoriales (sonidos) con el arranque directo, y como se consigue?

¿Qué ventajas tiene este método de arranque?

3. Arranque Estrella triangulo del motor Jaula Ardilla

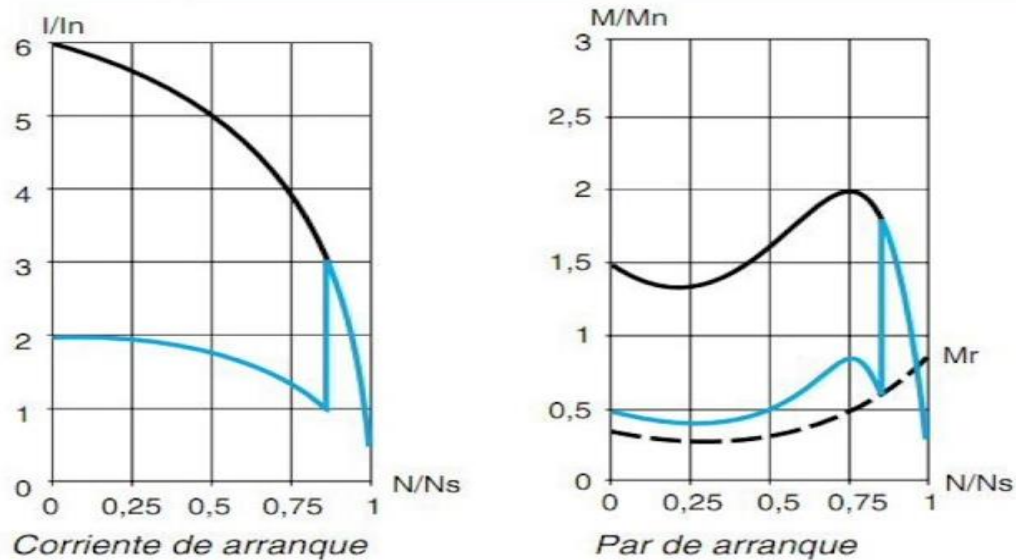


Figura 7: Torque y corriente vs velocidad para un arranque estrella-delta un Motor Jaula de Ardilla

- Esquema de conexión:

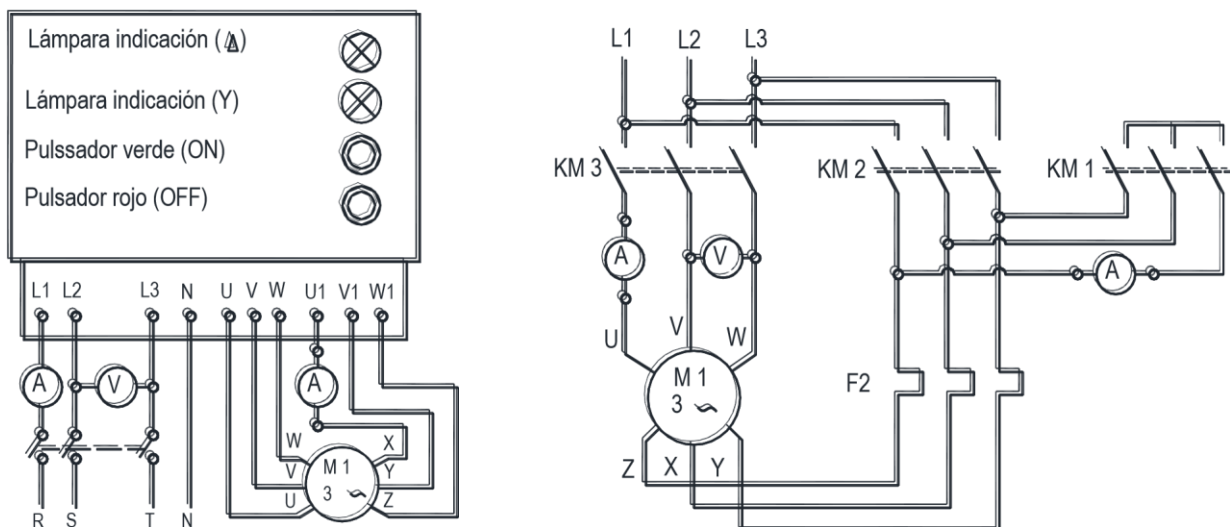


Figura 8: Modulo de Arranque estrella-triangulo en un Motor Jaula de Ardilla

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Completar los datos la Tabla N°3 de acuerdo al arranque del motor.

Tabla N° 3. Motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla (arranque estrella / triángulo)							
Tensión de red		Corriente absorbida en el arranque		Corriente armadura absorbida en condición estable	Velocidad síncrona	Velocidad del rotor	Tiempo de Arranque
Y	Δ	I_L (A)		I_0 (A)	N_s (RPM)	N_s (RPM)	(s)
V_F (V)	V_F (V)	Y	Δ				

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Qué sucede (condición mecánica y eléctrica) si el tiempo de cambio de Y a D es mayor o menor que el óptimo?

¿Qué sucede con el tiempo de arranque al cambiar la carga?

¿Qué condiciones debe cumplir el motor o la carga para este arranque?

Con los datos obtenidos esbozar un circuito equivalente monofásico.

4. Arranque con variador de frecuencia para el motor de Jaula de Ardilla

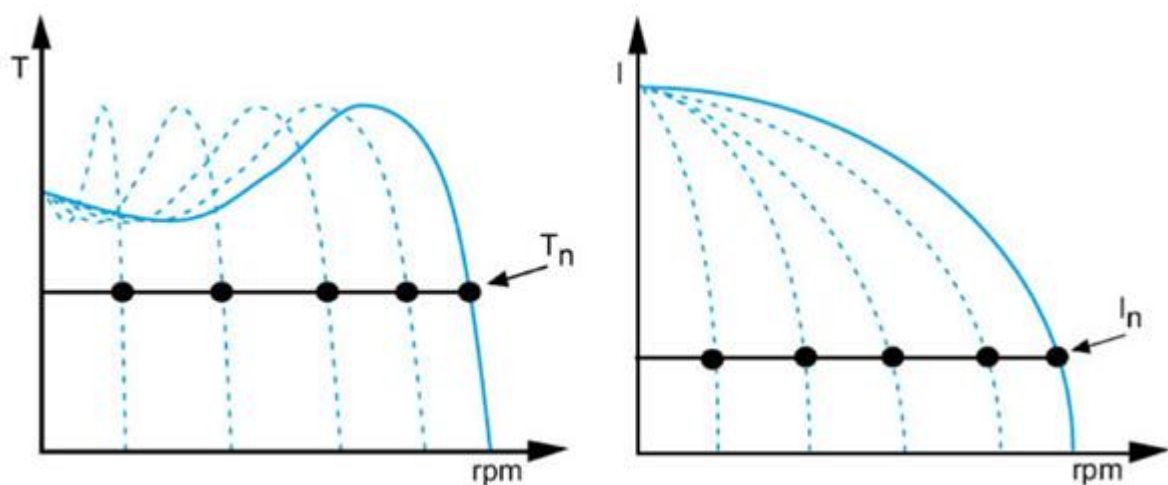


Figura 9: Torque y corriente vs velocidad con cambios de frecuencia en un Motor Jaula de Ardilla

- Esquema de conexión (Colocar instrumentos según criterio):

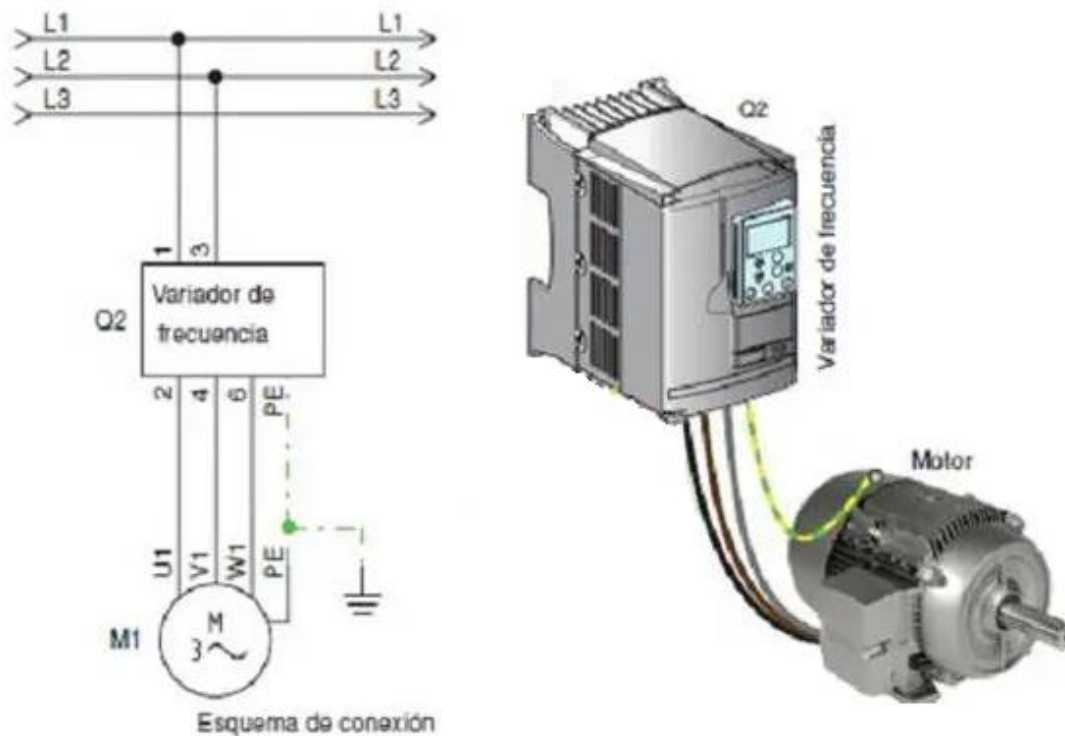


Figura 10: Equipos del Ensayo de Motor de Rotor Bobinado

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar los datos de placa del variador de frecuencia. (Captura fotográfica y explicar información)

Tabla N° 4. Motor Asíncrono trifásico Jaula de Ardilla (arranque con variador de frecuencia)						
Tensión de red	Corriente absorbida en el arranque (estator)	Corriente absorbida en vacío (estator)	Corriente absorbida en el arranque del rotor	Variación de Frecuencia por tiempo	Velocidad síncrona del motor asíncrono	Velocidad del rotor
V_L (V)	I_L (A)	I_0 (A)	I_R (A)	$a = \text{frec/s}$	N_S (RPM)	N_R (RPM)

--	--	--	--	--	--	--

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Qué sucede con la corriente de arranque al incrementar o disminuir la resistencia rotórica?

¿Cómo se consigue la Inversión de giro del motor?

¿Qué parámetros mecánicos se modifican al variar la resistencia rotórica en estado estable?

5. Arranque con resistencia rotórica del motor de Rotor Bobinado

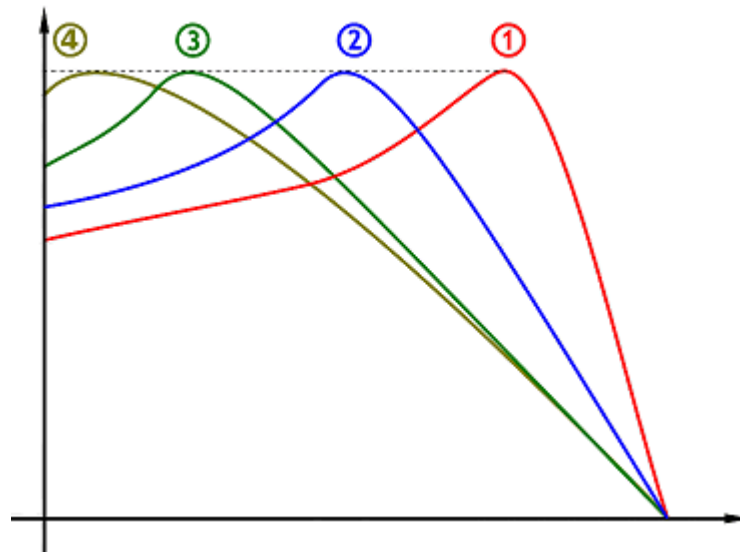


Figura 11: Torque vs velocidad con cambios de resistencia rotórica en un Motor de Rotor Bobinado

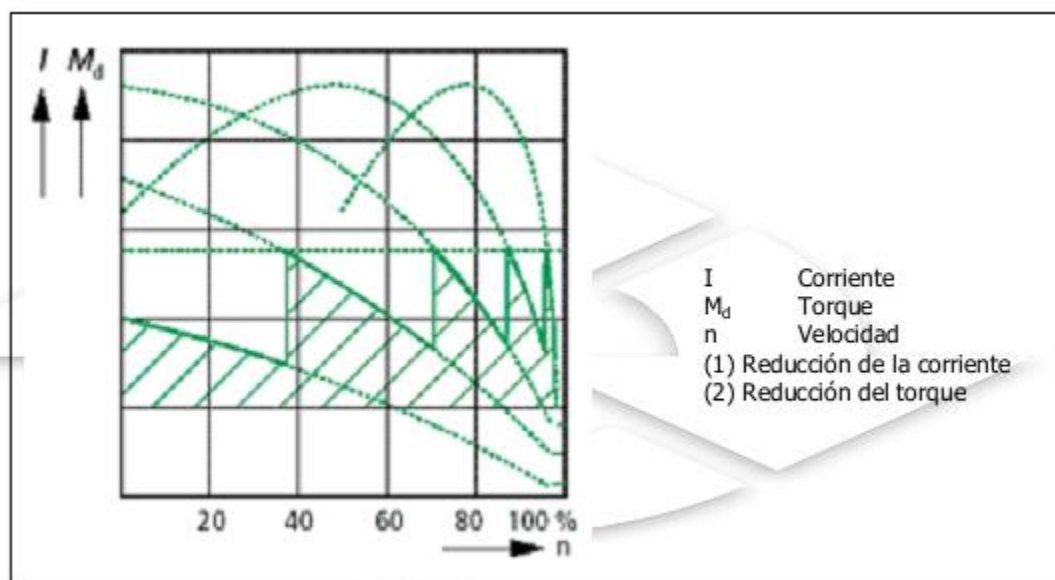


Figura 12: Curvas torque/corriente vs velocidad para arranque rotórico con resistencias

Esquema de conexión:

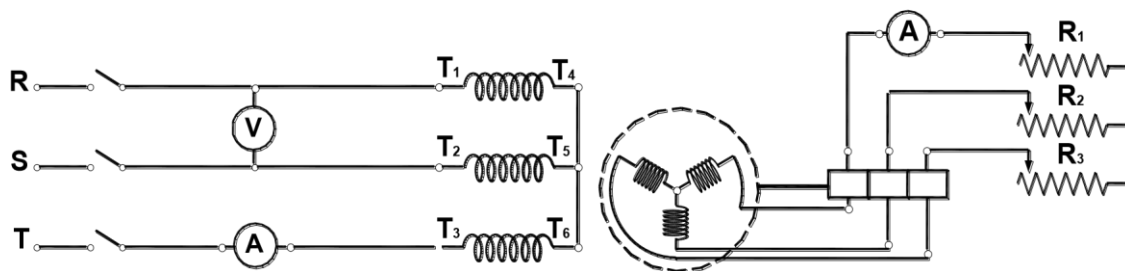


Figura 13: Equipos del Ensayo de Motor de Rotor Bobinado

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar los datos de placa de la resistencia rotórica. (Captura fotográfica y explicar información)

Tabla N° 5. Motor Asíncrono trifásico de rotor bobinado (arranque con resistencia rotórica)						
Tensión de red	Corriente absorbida en el arranque (estator)	Corriente absorbida en vacío (estator)	Corriente absorbida en el arranque del rotor	Relación de transformación estática	Velocidad síncrona del motor asíncrono	Velocidad del rotor
V_L (V)	I_L (A)	I_0 (A)	I_R (A)	$a = V_L/V_R$	N_s (RPM)	N_R (RPM)

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Qué sucede con la corriente de arranque al incrementar o disminuir la resistencia rotórica?

¿Cómo se consigue la Inversión de giro del motor?

¿Qué parámetros mecánicos se modifican al variar la resistencia rotórica en estado estable?

6. Arranque con resistencia de armadura del motor de DC con Conexión Shunt.

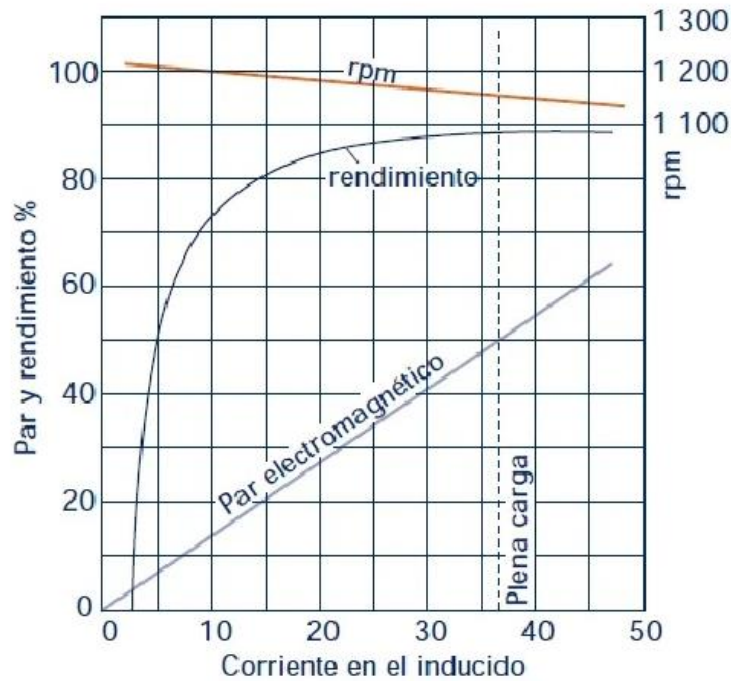


Figura 14: Comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos del motor DC Shunt

- Esquema de conexión:

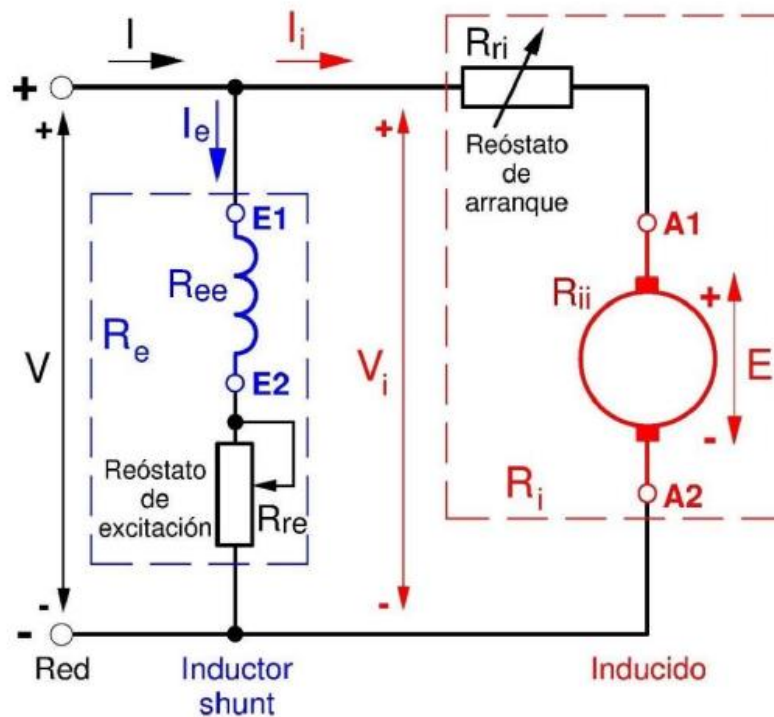


Figura 15: Conexión Shunt

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar condiciones de embalamiento.
- Instalar amperímetros para medir I_e y I_i

Tabla N° 6. Motor CC tipo Shunt (arranque con resistencia de armadura)					
Tensión de red	Corriente de excitación (estator)	Corriente armadura absorbida en el arranque	Corriente armadura absorbida en condición estable	Velocidad del rotor	Tiempo de Arranque
V_{CC} (V)	I_E (A)	I_{MAX} (A)	I_0 (A)	N (RPM)	(s)
	0.40				

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Qué sucede con el tiempo de arranque al cambiar la corriente de excitación a un valor mayor o menor?

¿Qué sucede con el tiempo de arranque al cambiar la carga?

¿Qué sucede con la corriente de arranque al cambiar la excitación?

¿Cómo se realiza la inversión de giro del motor?

7. Arranque con resistencia de armadura del motor de DC con Conexión Serie.

- Esquema de conexión:

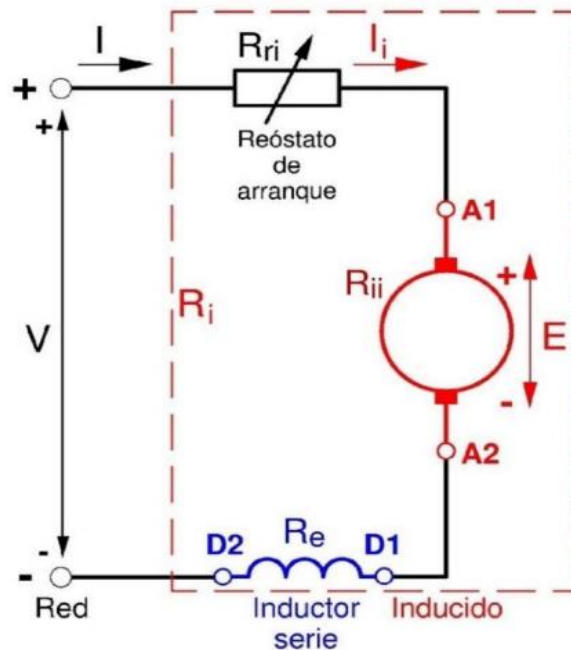


Figura 16: Comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos del motor DC Serie

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar condiciones de embalamiento.
- Instalar amperímetros para medir I_i
- Configurar condición de Carga del Motor (**IMPORTANTE**).

Tabla N° 7. Motor CC tipo Serie (arranque con resistencia de armadura)					
Tensión de red	Corriente armadura absorbida en el arranque	Corriente armadura absorbida en condición estable	Velocidad del rotor	Condición de carga	Tiempo de Arranque
V_{cc} (V)	I_{MAX} (A)	I_o (A)	N (RPM)		(s)

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Cómo se controla la excitación o corriente de campo?

¿Qué sucede con el tiempo de arranque al cambiar la carga?

¿Cómo se realiza la inversión de giro del motor?

8. Arranque con driver en motor de DC con Conexión Independiente.

- Esquema de conexión:

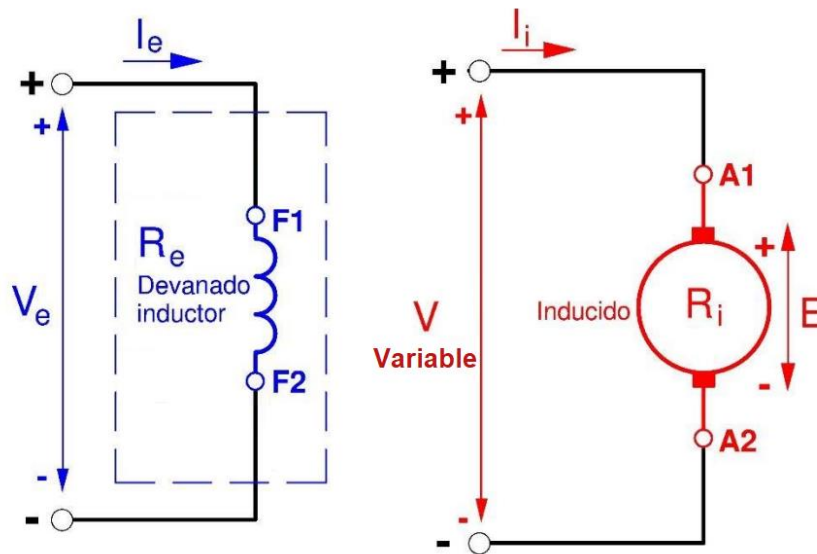


Figura 17: Conexión Independiente

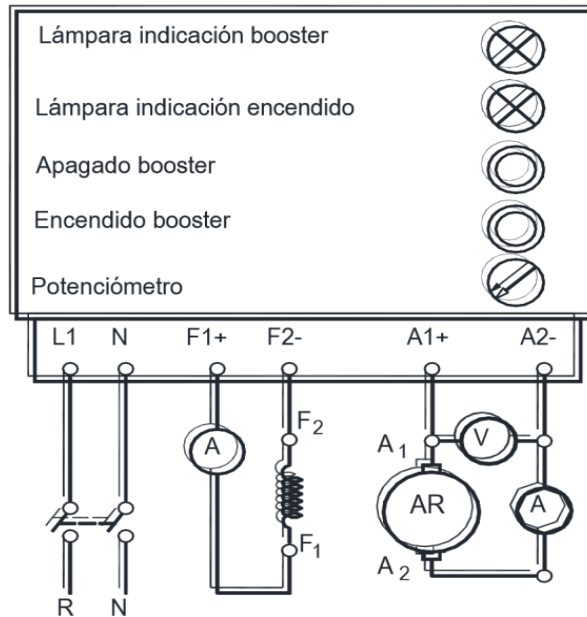


Figura 18: Esquema de Driver para control DC – conexión independiente

Actividades a realizar.

- Identificar datos de placa del motor. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar datos de placa del driver. (Captura fotográfica y explicar información)
- Identificar condiciones de embalamiento.

Tabla N° 8. Motor CC tipo Independiente (arranque con driver) con $I_{exc} = 0.4 \text{ A}$			
Tensión final del driver	Corriente armadura absorbida en el arranque	Corriente armadura absorbida en condición estable	Velocidad del rotor
$V_{cc} \text{ (V)}$	$I_{MAX} \text{ (A)}$	$I_o \text{ (A)}$	$N \text{ (RPM)}$

Preguntas a discutir durante la experiencia.

¿Cómo se invierte el sentido de giro de motor eléctrico?

En función a la información obtenida en los ensayos, preparar un mapa conceptual donde pueda identificar la información más relevante y pueda obtener las observaciones, conclusiones y recomendaciones para preparar su video.

Sugerencia:

- En el video mostrar entre otras cosas las diferencias entre los diversos métodos de arranque haciendo énfasis en ventajas y desventajas.
- Explicar con ayuda de las ecuaciones planteadas el comportamiento de los parametros en cada tipo de arranque.