

Motor Trifásico Asíncrono de Rotor Bobinado

(Modalidad Presencial)

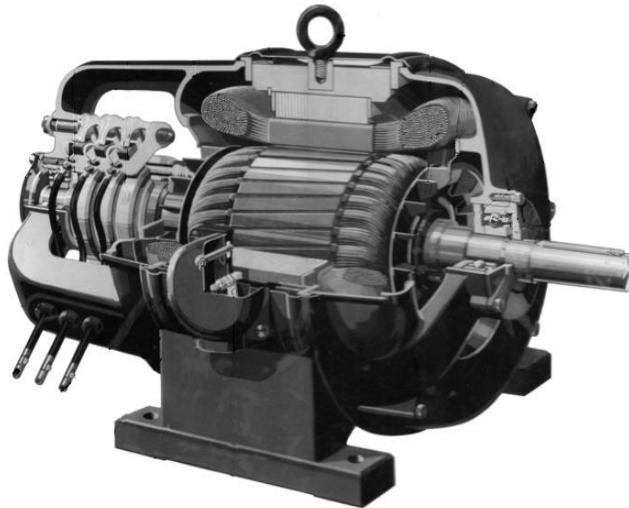


Fig. 1 Motor asíncrono trifásico de rotor bobinado

1. OBJETIVOS A LOGRAR:

- Medir parámetros eléctricos del motor.
- Realizar ensayos de vacío y rotor bloqueado considerando condiciones nominales.
- Calcular el circuito equivalente del motor de rotor bobinado a partir de la medición de resistencia, el ensayo de vacío y el ensayo de rotor bloqueado.
- Realizar el ensayo del motor con diversos valores de carga.
- Realizar por software de cálculo y construcción de las curvas de torque y corriente vs RPM con los datos del circuito equivalente y datos de placa.
- Comparar curvas experimentales de torque y corriente vs RPM con curvas generadas matemáticamente con el circuito eléctrico equivalente.
- Encontrar soluciones a problemas referidos al motor de rotor bobinado analizando la información obtenida en los ensayos.

2. FUNDAMENTO TEORICO:

El Motor asíncrono trifásico de rotor bobinado (anillos rozantes) es un motor de inducción que está formado por dos partes fundamentales:

Estator: Parte fija de la máquina formada por un núcleo ferromagnético de chapas de acero laminado al silicio que contiene los tres grupos de bobinas o devanado, el conductor de los arrollamientos es alambre de cobre y están alojadas en las ranuras del estator, separados 120° espacialmente, y que forman el inductor destinado a crear el campo magnético giratorio y es alimentado con tensión trifásica.

Rotor: Parte móvil de la máquina que se encuentra dentro del campo magnético del estator tiene bobinas similares al estator colocadas en las ranuras del material ferromagnético de forma cilíndrica con una distribución espacial igual a la del devanado del respectivo estator (igual número de polos). Es un devanado trifásico y generalmente los tres conductores de cada arrollamiento o fase en el interior del rotor, uno de sus extremos o bornes se cortocircuita, en tanto por el otro lado se conectan a los tres anillos eléctricamente aislados montados sobre el eje del motor.

El contacto o conexión entre los tres anillos rozantes y la caja de bornes se realiza a través de escobillas de carbón.

Su funcionamiento es similar a un motor trifásico asíncrono de inducción tipo jaula de ardilla.

Por lo que se tiene:

$$N1 = 120.f1 / p$$

donde:

- N1: Velocidad de sincronismo
- f1: Frecuencia del voltaje de alimentación de las bobinas del estator
- p: Número de polos del motor

2.1. CIRCUITO EQUIVALENTE POR FASE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

El circuito equivalente constituye la herramienta más útil para estudiar el funcionamiento del motor de inducción.

El circuito equivalente permite el cálculo sistematizado de todos los valores que definen el funcionamiento del motor en cualquiera de las etapas de su operación, siendo estas: arranque, plena carga, marcha en vacío o a rotor bloqueado.

El circuito equivalente por fase de un motor asíncrono, es análogo al de un transformador monofásico, con la diferencia que la impedancia de la carga ha sido sustituida por una resistencia variable dependiente de la velocidad del motor, con lo que el circuito es como se indica en la Fig. 2.

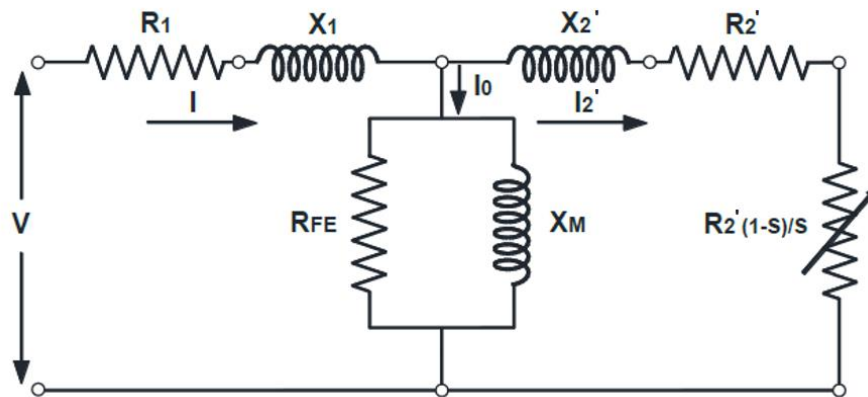


Fig. 2 Circuito equivalente de un motor asíncrono trifásico de rotor bobinado

En este circuito:

- V : Tensión aplicada al motor por fase
- I : Corriente de fase que circula por el estator
- I_0 : Corriente al núcleo de motor
- I_2' : Corriente que circula por la resistencia R_2 del rotor referido al estator
- R_1 : Resistencia del devanado del estator por fase
- X_1 : Reactancia de dispersión del estator por fase
- X_2' : Reactancia de dispersión del rotor por fase referido al estator
- R_{fe} : Resistencia de pérdidas en el hierro por fase
- X_m : Reactancia de magnetización por fase
- R_2' : Resistencia del devanado del rotor referido al estator
- s : Deslizamiento

2.2. Arranque Del Motor Trifásico Asíncrono De Rotor Bobinado

En los motores de rotor devanado o con anillos se puede reducir la corriente de arranque introduciendo una resistencia adicional (reóstato de arranque) en cada una de las fases del rotor, de esta forma aumenta la impedancia del motor y se reduce la corriente de arranque y de este modo o forma se logra variar el torque de arranque, dependiendo de dichas resistencias externas el torque nominal puede ser del 150 % y el 250 % del torque nominal. La corriente nominal no supera las 2 veces la corriente nominal del motor, conforme el motor inicia su marcha, se va eliminando la resistencia del reóstato de arranque. En la figura 3 se puede observar el diagrama eléctrico de un motor trifásico asíncrono de rotor bobinado y reóstato de arranque.

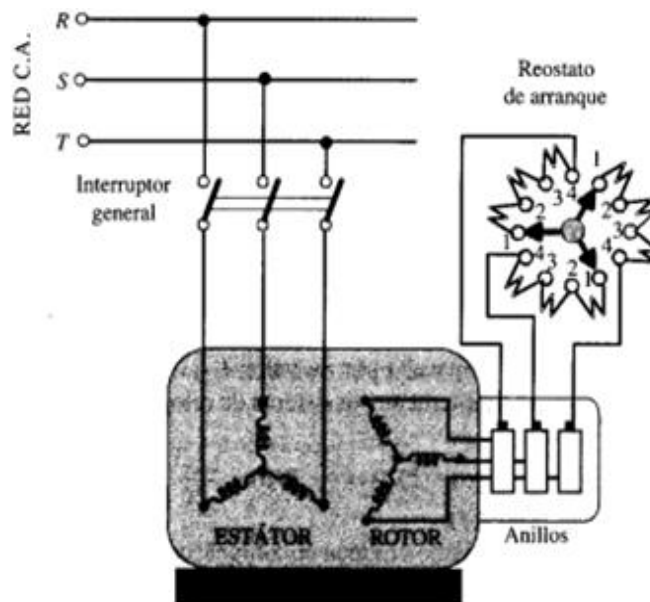


Fig.3. Motor trifásico asíncrono de rotor bobinado y reóstato de arranque

Para reducir las pérdidas mecánicas del motor y también el desgaste de anillos y escobillas, estas máquinas llevan a menudo dispositivos para levantar las escobillas y poner en cortocircuito los anillos después del periodo de arranque.

Actualmente esta operación de arranque se realiza:

- Por mediación de contactores y relés de tiempo que van eliminando secuencialmente las resistencias adicionales
- Arrancadores de estado sólido

Este método de arranque sólo se puede aplicar a motores de rotor devanado.

3. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- Verificar datos de placa y determinar valores nominales para las pruebas a realizar.
- Realizar la medición de resistencias estáticas y rotóricas, el ensayo de vacío y el ensayo de rotor bloqueado del motor.
- Realizar el cálculo del circuito equivalente.
- Realizar el ensayo con carga del motor utilizando el dinamómetro.
- Realizar la curva Torque vs RPM y Corriente vs RPM utilizando softwares de cálculo y comparar los resultados con los ensayos de carga.
- Resolver las preguntas propuestas en función de los datos obtenidos en el laboratorio y verificar dichos resultados.

4. MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL LABORATORIO

- PC o Laptop con conexión a internet.

4.1. LISTA DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN EL LABORATORIO

<i>Equipo</i>	<i>Características</i>
Fuente de alimentación	Tensión constante 220/380 VAC, 16 A, 60 Hz, 4 hilos Tensión variable 0-220/380 VAC. 16 A. 4 hilos
Vatímetros Yokogawa WT230	Entrada de Corriente máxima: 26A Precisión básica: 0.1 % Actualización de datos de alta velocidad 10 lecturas por segundo
Multímetro Fluke 189	Entrada de Corriente máxima: 10A Precisión básica: 0.1 %
Motor trifásico de inducción tipo rotor bobinado de 4 polos	Marca ASEA 2.5 HP, 380 V en Y, 4.5 A, 1390 rpm, 50 Hz
Resistencia Rotórica de Arranque del MATRB	1.5kW 120V - 10A.
Dinamómetro	Modo generador: 2.7 kW – 230 V – 11.7A Exc 220 V ; Torque de 0 – 30 N-m.

Tabla 1 - Equipos a utilizar en el Laboratorio Nro. 2

5. PROCEDIMIENTO

5.1. CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL ENSAYO

- Verificar la configuración con los siguientes componentes:
 - Fuente de alimentación alterna variable y constante.
 - Motor de inducción de rotor bobinado.
 - Resistencias rotóricas de arranque.
 - Dinamómetro con control de campo.
 - Vatímetro.
 - Multímetro.



Figura 4: Equipos del Ensayo de Motor de rotor bobinado

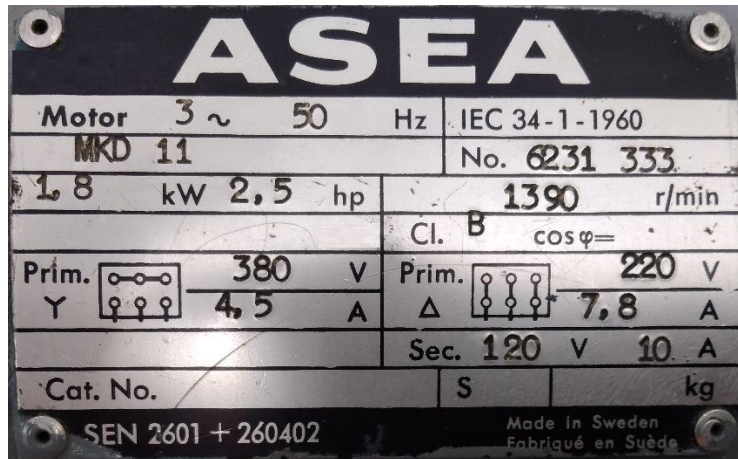


Figura 5: Placa del Motor de rotor bobinado

Antes de la sesión del laboratorio se pide que calculen la velocidad de sincronismo con la información entregada y los valores nominales para los ensayos según los datos de placa y las condiciones eléctricas en nuestro país es decir 60 Hz en este caso la conexión será en estrella.

5.2. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA DE LAS BOBINAS DEL ESTATOR Y ROTOR

Para medir la resistencia de los bobinados (devanados) del motor rotor bobinado se medirá por fase, dado los terminales del estator del motor está configurado por fase y los devanados del rotor internamente esta en conexión estrella (Y) en este caso la resistencia a medir será entre dos fases por qué no se tiene acceso al punto neutro.

En la Figura 6 se representa los bobinados (devanados) del estator y rotor.

Las mediciones se pueden realizar por los siguientes métodos:

- Método voltímetro / amperímetro. Se hace pasar corriente continua de un terminal a otro (por fase) o se conecta en serie las tres fases, tratando de no superar la corriente nominal, se determina el promedio de múltiples lecturas y se calcula por ley de ohm
- Método con puentes de mediciones para bajas resistencias
- Usando el multímetro como ohmímetro.

De este modo, se puede conocer el valor de la resistencia de los bobinados (devanados).

Es necesario también medir la temperatura ambiente a la cual debe haber estado expuesto el motor. Con este valor de temperatura es posible corregir el valor de resistencia a la temperatura de operación del motor. Mida y anote en la tabla 2.

Figura 6(a) medición de la resistencia del estator por fase, Figura 6(b) medición de la resistencia del rotor en conexión estrella.

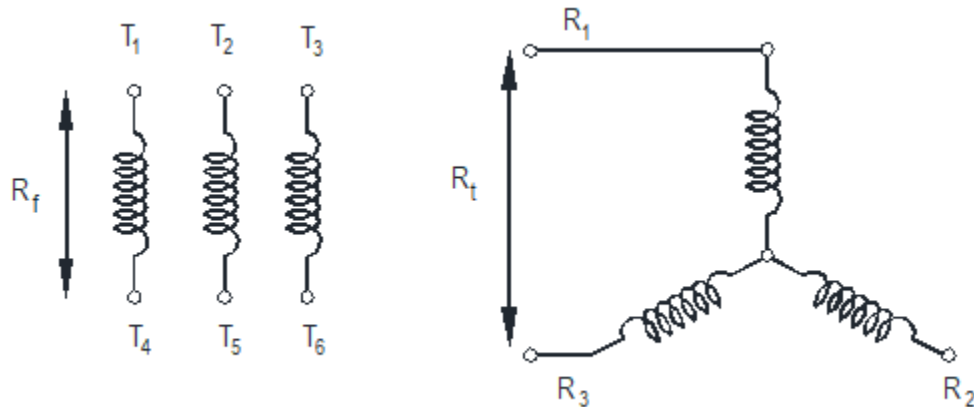


Figura 6: Resistencias de un Motor de rotor bobinado

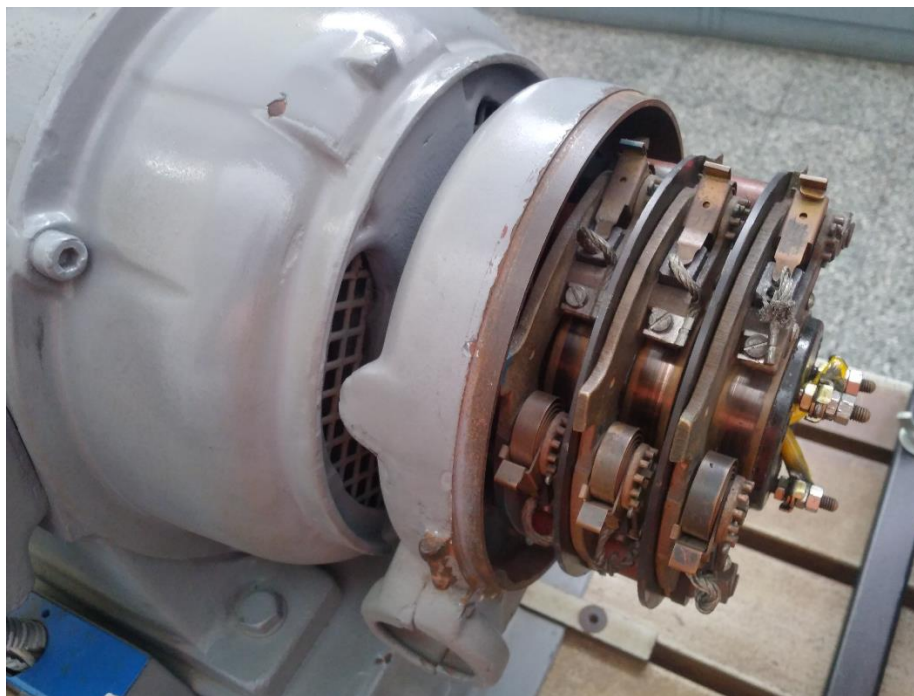


Figura 7: Puntos de medición para las resistencias rotóricas.

BOBINA	RESIST. (Ω)	RESIST. A 75°C (Ω)	BOBINA	RESIST. (Ω)	RESIST. A 75°C (Ω)
T1 - T4			R1 - R2		
T2- T5			R2- R3		
T3 - T6			R3 - R1		

Tabla. 2 Resistencia del estator y rotor en el motor

5.3. REALIZAR LA DESCONEXIÓN MECÁNICA ENTRE MOTOR Y DINAMOMETRO.

Desajustar tuercas del motor y desplazarlo sobre su guía hasta garantizar el desacoplamiento y evitar colisiones.

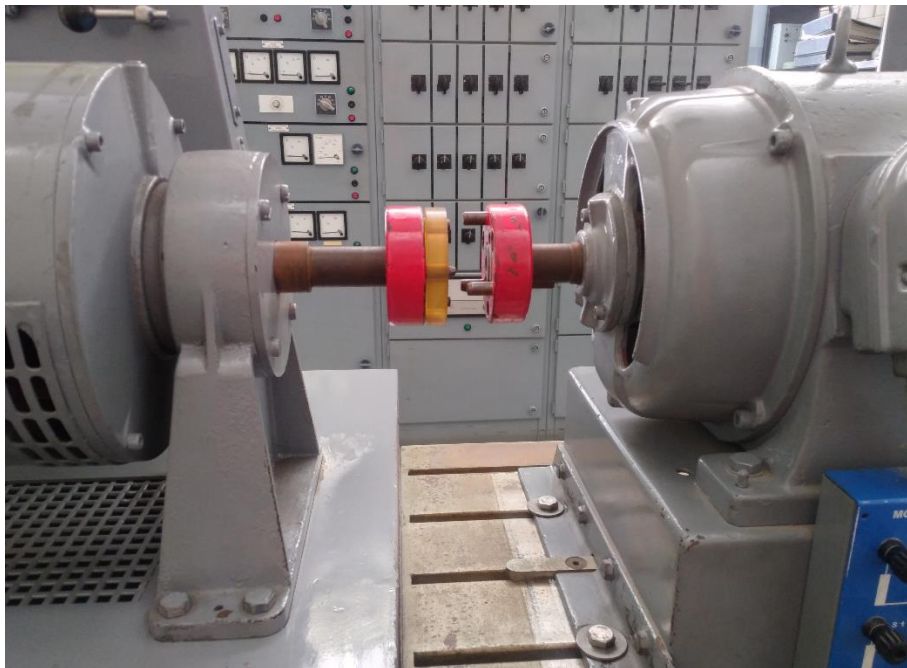


Figura 8: Desacople Mecánico

5.4. REALIZAR LA CONEXIÓN ELECTRICA DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

Realizar el cableado según la Figura 9.

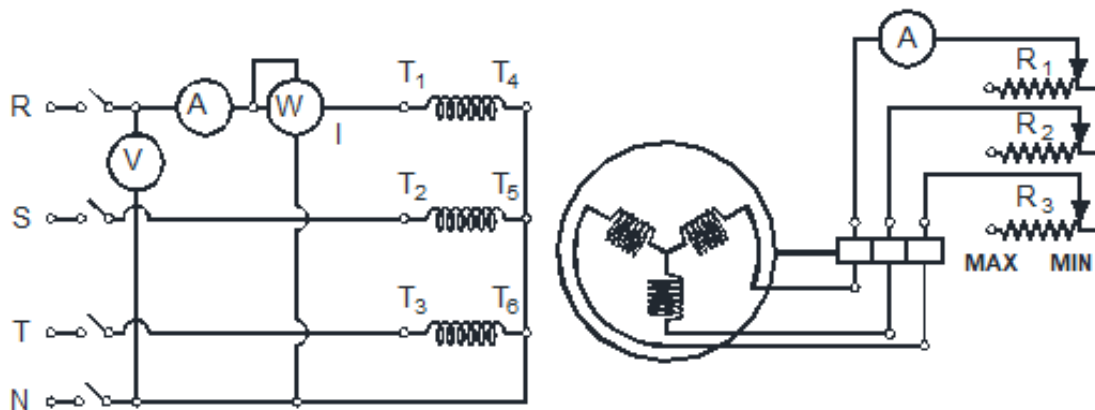


Fig. 9 Esquema de cableado para el ensayo de vacío, rotor bloqueado y con carga

5.5. ENSAYO DE VACIO.

Condiciones del ensayo de vacío:

- Eje del motor libre.
- Voltajes variables desde un mínimo hasta llegar al nominal.
- Resistencias rotóricas en máximo valor durante la energización inicial y en mínimo durante el ensayo.

Finalidad del ensayo.

- Determinar la impedancia del núcleo hallando R_{Fe} y X_M , considerando el dato de voltaje nominal.

Pasos

- Verificar el voltaje mínimo de la fuente en el tablero principal.
- Encender el interruptor de alimentación trifásico de la mesa de trabajo.
- Incrementar el voltaje de alimentación según la tabla y tomar las medidas los parámetros mostrados en la tabla 3.

<i>Ensayo de Vacío</i>				
$V(\%)$	$V_{TEOF} (V)$	$V_F (V)$	$I_F (A)$	$P_{F-RN} (W)$
77%	170			
82%	180			
86%	190			
90%	200			
95%	210			
100%	220			
105%	230			
110%	240			

Tabla. 3 Resultados del ensayo de vacío

- Una vez tomados todos los puntos disminuir el voltaje a 0V, apagar fuentes, colocar el reóstato de arranque en máxima resistencia y equipos.

5.6. ENSAYO DE ROTOR BLOQUEADO.

Condiciones del ensayo de rotor bloqueado:

- Velocidad del eje igual a 0, rotor detenido o bloqueado.
- Voltajes variables que generen un corriente de línea desde un mínimo hasta llegar al nominal. (Voltaje de 0 hasta aproximadamente el 25 o 30 %)
- Resistencias rotóricas en máximo valor durante la energización inicial y en mínimo durante el ensayo.

Finalidad del ensayo.

- Determinar la Impedancia del bobinado del estator y rotor hallando X_1' , R_2' y X_2' , considerando el dato de corriente nominal.

Pasos:

- Bloquear el eje del rotor del motor de rotor bobinado.
- Verificar el voltaje mínimo de la fuente en el tablero principal.
- Encender el interruptor de alimentación trifásico de la mesa de trabajo.
- Incrementar el voltaje de alimentación para conseguir las corrientes de línea mostradas en la tabla 4 y tomar las medidas los parámetros.

<i>Ensayo de Rotor Bloqueado</i>				
$I(\%)$	$V_F (V)$	$I_{TEO-F} (V)$	$I_F (A)$	$P_{F-RN} (W)$
10%		0.45		
20%		0.90		
30%		1.35		
40%		1.80		
50%		2.25		
60%		2.70		
70%		3.15		
80%		3.60		
90%		4.05		
100%		4.50		
110%		4.95		

Tabla. 4 Resultados del ensayo de rotor bloqueado

- Una vez tomados todos los puntos disminuir el voltaje a 0V, apagar fuentes, colocar el reóstato de arranque en máxima resistencia y equipos.

5.7. ENSAYO CON CARGA.

Condiciones del ensayo con carga:

- Velocidad del eje con un rango de deslizamiento menor a 7%.
- Voltaje nominal.
- Resistencias rotóricas en máximo valor durante el arranque y en mínimo durante el ensayo.

Finalidad del ensayo.

- Determinar el comportamiento de los parámetros eléctricos y mecánicos al aplicar carga al motor de rotor bobinado.

Pasos:

- Realizar el acoplamiento del motor MATRB y el dinamómetro.
- Encender la fuente de alimentación del motor a tensión alterna constante y arrancar el motor a su punto estabilidad.
- Poner el dinamómetro en modo GENERADOR, verificar que la corriente de campo sea menor a 0.05 A y acoplar el sistema.
- Incrementar la carga del dinamómetro elevando la corriente de campo, obteniendo los torques de la tabla 5.

<i>Ensayo de con carga</i>				
$V_F (V)$	$I_F (A)$	$P_{F-RN} (W)$	RPM	$T (N-m)$
				Min
				2.0
				3.0
				4.0
				5.0
				6.0
				7.0
				8.0
				9.0
				10.0
				11.0
				11.5

Tabla. 5 Resultados del ensayo con carga

- Una vez tomados todos los puntos disminuir la carga, desacoplar el sistema, desactivar el dinamómetro, apagar fuentes y equipos.

6. COMPLEMENTO DE LAS ACTIVIDADES DE MEDICIÓN:

- Preparar una explicación para realizar el equivalente monofásico del motor ensayado.
- Con los datos del ensayo de vacío graficar la curva P_{3f} vs voltaje.
- Con los datos del ensayo de rotor bloqueado graficar la curva P_{3f} vs corriente.
- Crear un programa u hoja de cálculo para a partir de los datos de Resistencias, Tipo de Motor, Ensayo de Vacío y Ensayo de Rotor Bloqueado se pueda calcular los parámetros del circuito equivalente.
- Crear un programa u hoja de cálculo para que, con los datos del circuito equivalente, resistencia rotórica externa, el voltaje y la frecuencia de alimentación se pueda generar la curva de Torque vs Velocidad y Corriente vs Velocidad.
- Comparar las curvas obtenidas del ensayo con carga y el generado con el circuito equivalente.

-
- Analizar que sucede con las curvas del motor ante una variación de las resistencias rotóricas, voltajes o frecuencias.
 - Analizar que sucede con los diversos métodos de arranque en función de los datos y parámetros obtenidos.
 - Redactar observaciones y conclusiones.