

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Conversión Electromecánica de la energía

Laboratorio 6
MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

Omaña Enderson CI: 24.757.361
Raven Guillermo CI: 25.476.227
Profesor: Crespo Jorge

Caracas, 10 de octubre de 2019

Índice

1. Objetivos

- Estudiar los diferentes tipos de motores de corriente continua y sus aplicaciones en la industria.
- Modelar en régimen permanente una máquina de corriente continua.
- Determinar las curvas características más importantes de las máquinas de corriente continua.
- Estudiar los problemas asociados a la conmutación de una máquina de corriente continua.

2. Marco Teórico

2.1. Curva de saturación o vacío

En las máquinas de corriente continua, la curva de saturación o magnetización $B=f(H)$ representa la característica interna de su circuito magnético y de sus bobinas. Para la medición de esta característica no se mide la inducción B en función del campo magnético H , sino dos cantidades eléctricas proporcionales a éstas: la fuerza electromotriz generada en vacío, E_0 contra la corriente del campo principal de excitación I_{exc} , obteniéndose así lo que se conoce como la curva de vacío (durante el ensayo la máquina esta sin carga o en vacío) o de saturación (en la curva se visualiza el codo de saturación del circuito magnético de la máquina).

Es conocido que una máquina de p pares de polos, $2a$ vías en paralelo, y n conductores; que gira a la velocidad w , genera una fuerza electromotriz E_0 , igual a:

$$E_0 = k \cdot \phi \cdot w \quad (1)$$

Si se hace girar la máquina a velocidad constante, a través de cualquier mecanismo externo (ej.: turbina, o en el laboratorio un motor sincrónico), la fuerza electromotriz es directamente proporcional al flujo ϕ , que a su vez es proporcional a la densidad de flujo magnético (inducción) B . Luego para producir dicho flujo ϕ , es necesario aplicar un campo magnético H , a través del circuito de excitación. El teorema de Ampère relaciona directamente el campo H a los amperios-vueltas magnetizantes del(os) circuito(s) de excitación, donde el campo H es proporcional a la fuerza magnetomotriz total aplicada.

De esta forma determinando la curva de saturación o vacío, a través de mediciones de la tensión en los terminales de la armadura sin carga U_0 (aproximadamente igual a E_0) para diferentes valores de corriente de excitación I_{exc} , a velocidad de giro w constante, se obtiene una imagen de la curva de magnetización $B=f(H)$.

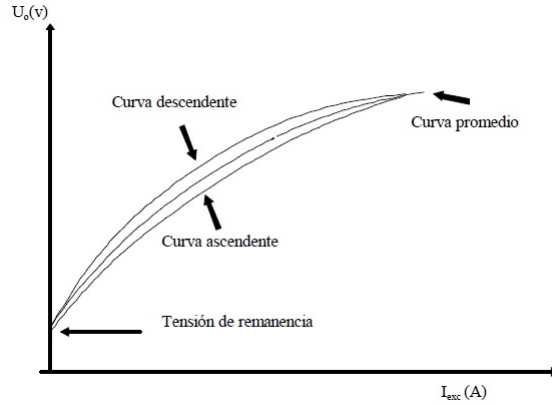


Figura 1: Curva de magnetización

2.2. Funcionamiento como generador

Cuando se trata de un generador de corriente continua, generalmente se considera que gira a una velocidad constante e igual a su velocidad nominal. Así las características externas de un generador mostrarán la evolución de una cantidad eléctrica vs otra manteniendo constante la tercera. Las tres variables eléctricas de un generador DC son:

- U_c : Tensión en los terminales de la armadura.
- I_a : Corriente de armadura.
- I_{exc} : Corriente del campo de excitación principal.

3. Lista de instrumentos

Cuadro 1: Lista de instrumentos de medición y componentes

Instrumento	Alcance ó especificaciones
Reostato	(0-100) Ω
Osciloscopio	-
Transformador	2 KVA; 2:1
Voltímetro de hierro móvil	(0-150) V
Amperímetro de hierro móvil	(0-1.2) A ó (0-6) A
Vatímetro	-
Protecciones AC	25 A; 380 V
Protecciones DC	-
Carga inductiva	(Se utilizo un motor DC)
Carga resistiva-capacitiva	33 Ω ; 300 μF
Puente rectificador	-
Carga lineal	(200,400,600,800,1K)W
Variac	7 KVA @ 50 A

4. Condiciones de ensayo

Estas son las precauciones y normativas necesarias para realizar el laboratorio de forma segura y efectiva:

- **Respecto a la medición de la curva en vacío:** La máquina a la que se le hará la prueba deberá estar conectada como generador. Dado que tiene que girar a velocidad constante, se utilizará algún mecanismo externo que brinde tales características.
Este será un motor sincrónico o una turbina. En el caso de emplearse un motor sincrónico el campo deberá activarse al alcanzar una velocidad constante, debido a que para que exista par debe existir un desfase entre el campo magnético del rotor y el del estator.
- **Respecto a la medición de resistencias:** Se trabajará asegurándose que la corriente máxima alcanzada en I_f ó I_a sea menor o igual al 20% de la corriente nominal. La resistencia obtenida mediante la pendiente de la recta debe ajustarse de acuerdo a la temperatura.
- **Respecto a la medición de la característica de regulación (Motor):** Se debe mantener U_c (tensión en los bornes) en su valor nominal y a velocidad nominal.
- **Respecto a la vestimenta:** No usar franelas o camisas manga larga, llevar zapatos de goma y pantalones. No usar collares ni pulseras de metal.
- **Previo a las pruebas:** Hacer primero el montaje antes de energizar, al culminarlo preguntar al profesor si las conexiones son correctas para proceder con las pruebas.
- **Respecto a la comunicación:** Mantener informado sobre cualquier cambio en el montaje al compañero de laboratorio y por sobre todo informar si el circuito se encuentra energizado o no.
- **Respecto a las curvas observadas:** No aceptar como adecuada una curva que este llena de ruido, ya que se puede deber a que algún elemento puede estar actuando como antena, esto originará imprecisión en los resultados.
- **Respecto al número de mediciones:** Realizar al menos 5 mediciones para condiciones distintas.
- **Respecto a la elección de componentes y las conexiones:** Evitar los componentes que puedan funcionar como antenas (como resistencias de shunt de tipo mariposa u algún otro que se encuentre muy expuesto) y cuidar los contactos de cada conexión.
- **Respecto a la manipulación:** En caso de maniobrar el circuito energizado manipular con la mano derecha, buscando mayores probabilidades de sobrevivir en caso de un accidente eléctrico.

5. Procedimiento

5.1. Características internas

1. Lo primero será, hallar las resistencias internas de campo y armadura por lo que se realizarán las conexiones como en la figura ??.
2. Se conectará únicamente el lado de campo con una fuente DC al valor nominal.

3. Manteniendo la tensión V_f fija y variando el reostato en pasos equidistantes se tomara nota de los valores de tensión y corriente. Se tomaran al menos 4 mediciones.
4. Se desconectara la alimentación del lado de campo y se conectara la fuente del lado de armadura a tensión nominal.
5. Manteniendo la tensión V_a fija y desplazando la cuchilla de arranque en pasos equidistantes se tomara nota de los valores de tensión en los bornes y la tensión en la resistencia de shunt. Se tomaran al menos 5 mediciones.
6. Se desconectara la alimentación del lado de armadura y se desenergizara el circuito.
7. Se armara el esquema de conexiones conectando el motor DC como generador de acuerdo a la figura ??.
8. Se encendera el generador sincronico y solo cuando alcance una velocidad constante se accionara el campo mediante las protecciones DC.
9. Manteniendo la velocidad del eje a su valor nominal se variara el reostato del lado de campo de forma que los datos sean tomados en espacios apropiados que permitirán una exactitud de la curva graficada entre nula excitación y 125 % de la tensión nominal (U_{nom}), en la parte lineal de la curva con incrementos de 20 % de U_{nom} y pasos del 10 % de U_{nom} , alrededor del codo de saturación que suele estar entre el 80 % y el 110 % de la U_{nom} .
10. Se repetira el proceso del punto previo; pero desde el ultimo punto alcanzado hasta el valor minimo, respetando en lo posible que los pasos sean iguales. jajajajaja

6. Diagramas

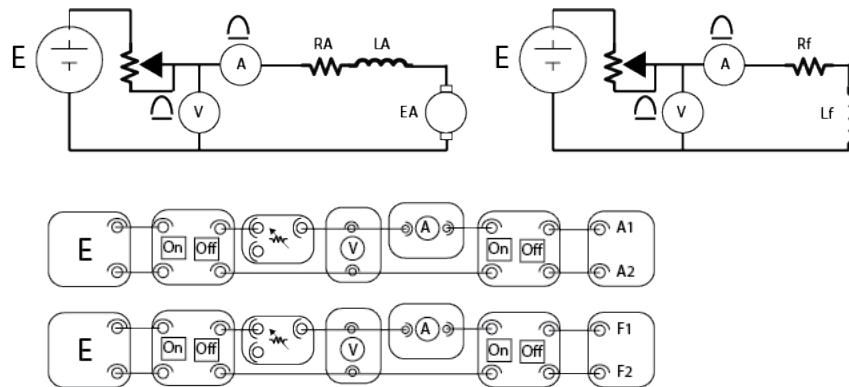


Figura 2: Diagrama de conexión pruebas de resistencias internas

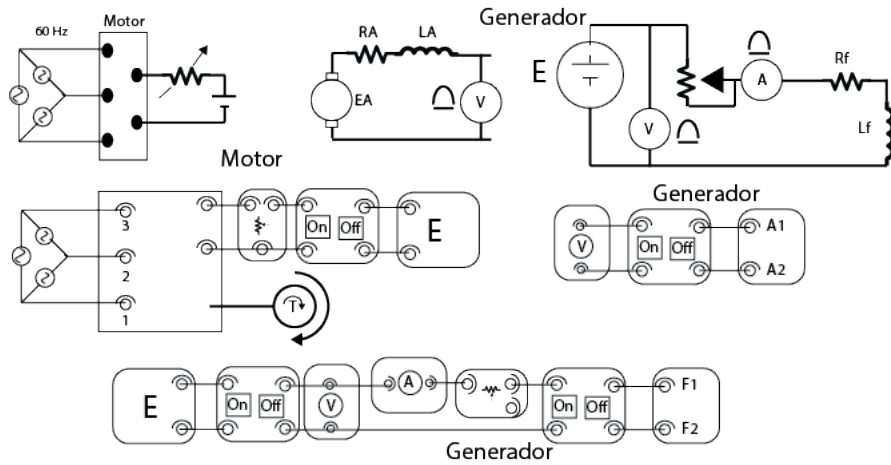


Figura 3: Diagrama de conexión pruebas de Prueba curva de vacío

7. Cálculos preliminares

7.1. Características internas

7.1.1. Resistencia interna

De acuerdo al diagrama de la figura ??, se espera una curva característica de tensión vs corriente para el lado de campo con una forma similar al de la figura ?? y en el lado de armadura su forma se asemejara a la figura ??.

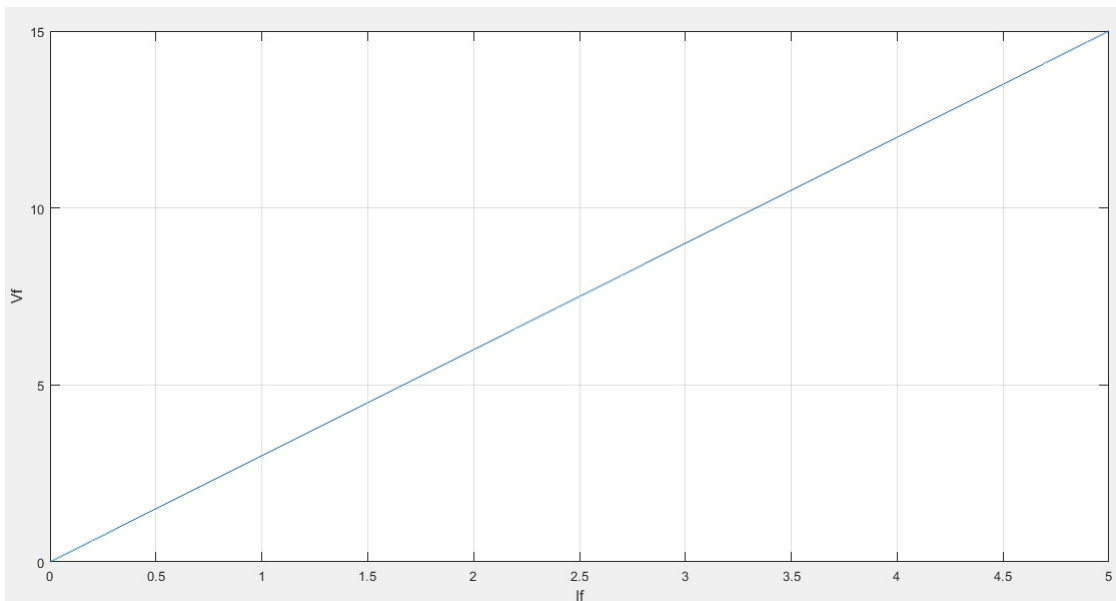


Figura 4: Curva característica esperada V vs I_f

La pendiente de la curva previa proporcionara el valor de la resistencia de campo.

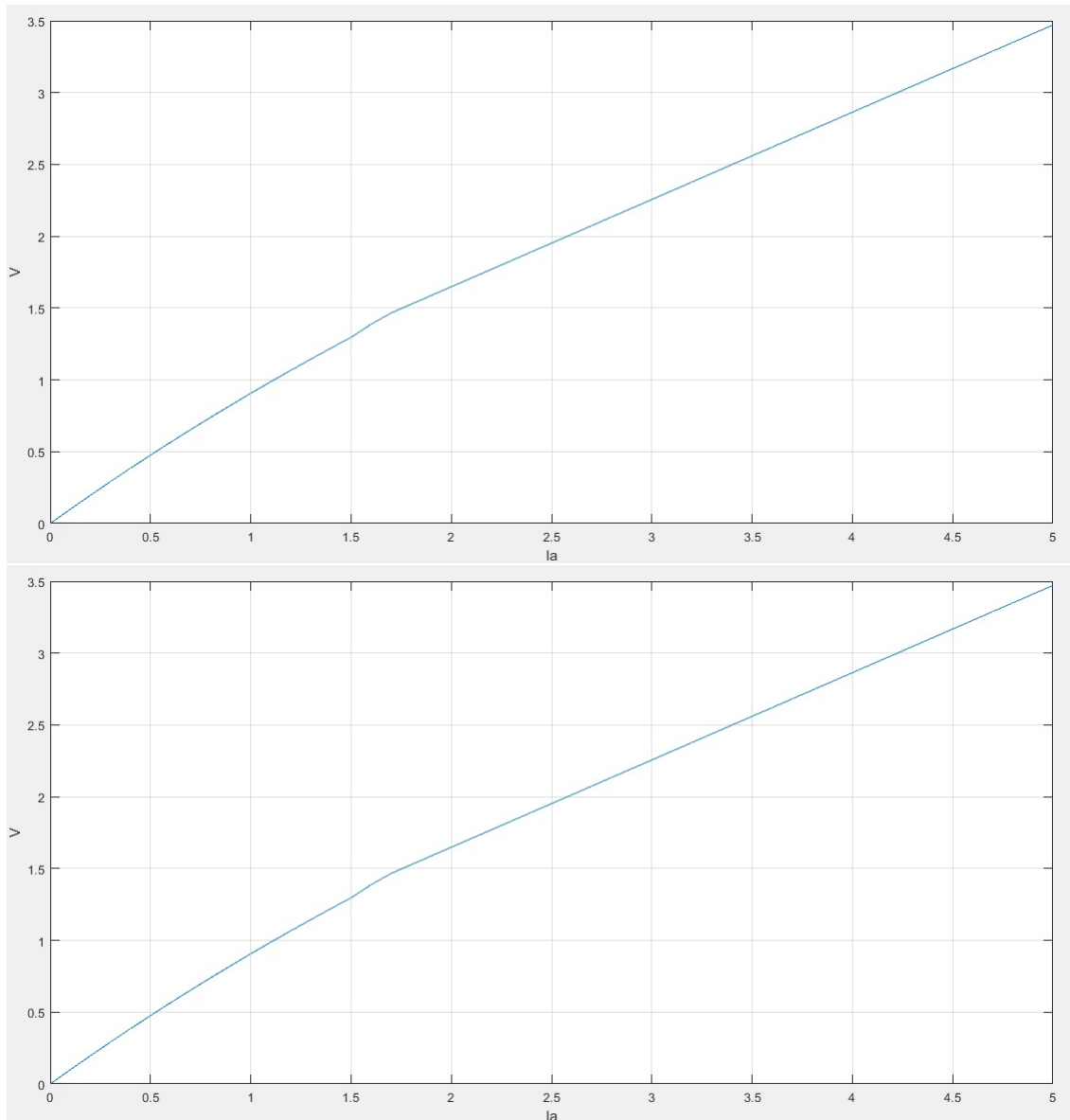


Figura 5: Curva característica esperada V vs I_a

Como se puede observar en la figura ?? a diferencia de la figura ?? no es una recta completamente. Al inicio de la curva se espera un comportamiento no lineal debido a la resistencia de las escobillas; Aunque desde cierto punto se vuelve lineal debido a que el ya mencionado efecto es despreciable, por lo que la pendiente de la zona lineal corresponde con el valor de la resistencia de armadura.

7.2. Características externas

8. Resultados experimentales

8.1. Carga lineal

8.1.1. Condición en vacío

Se fija la tensión en el lado de baja (120 ± 1) V con una corriente de (2.3 ± 0.1) A; además se obtuvo la forma de onda de la corriente en vacío del lado de baja en la Figura ??.

lab5/RecursosLab5/shuntEnVacio.jpeg

Figura 6: Corriente en lado de baja. Escala 10 mV y 2 ms

8.1.2. Mediciones en RMS y valores calculados

En la siguiente figura se aprecian los valores obtenidos por medio de voltímetros, amperímetros y un vatímetro:

Cuadro 2: Mediciones en lado de alta y baja para diversas cargas resistivas

Carga lineal [W]	$V_{entrada}$ [V]	V_{salida} [V]	$I_{entrada}$ [A]	I_{salida} [A]	P_{salida} [W]
200	120 ± 1	230 ± 2	$2,9 \pm 0,1$	$1,01 \pm 0,05$	220 ± 10
400	118 ± 1	224 ± 2	$4,3 \pm 0,1$	$1,90 \pm 0,05$	410 ± 10
600	118 ± 1	224 ± 2	$5,9 \pm 0,1$	$2,55 \pm 0,05$	620 ± 10
800	112 ± 1	220 ± 2	$7,5 \pm 0,1$	$3,60 \pm 0,05$	790 ± 10
1000	110 ± 1	218 ± 2	$9,0 \pm 0,1$	$4,40 \pm 0,05$	950 ± 10

Utilizando los resultados previos, extrayendo R_{cc} y X_{cc} del modelo obtenido en la practica previa se obtiene la tensión $\frac{V_p}{a}$ cuya expresión del error es la siguiente:

$$Copia la formula de la incertidumbre \quad (2)$$

Con $\frac{V_p}{a}$ y la tensión en el secundario se obtiene la regulación por medio de las siguientes formulas:

$$Reg = \frac{\frac{V_p}{a} - V_{salida}}{V_{salida}} \quad (3)$$

$$\Delta Reg = Copia la formula del error \quad (4)$$

Con las expresiones previas se obtuvo el siguiente cuadro:

Cuadro 3: Regulación respecto a la carga lineal

$\frac{V_p}{a}$ [V]	Regulación	Carga lineal [W]
		220 ± 10
		410 ± 10
		620 ± 10
		790 ± 10
		950 ± 10

Con los valores de regulación obtenidos y la corriente en el lado de alta se comparo con su homologo teórico en la siguiente gráfica:

8.1.3. Corrientes en alta y baja para distintas cargas

lab5/RecursosLab5/shuntBaja200W.jpeg

Figura 7: Corriente en baja para carga de 200 W. Escalas 10 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntAlta200W.jpeg

Figura 8: Corriente en alta para carga de 200 W. Escalas 10 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntBaja400W.jpeg

Figura 9: Corriente en baja para carga de 200 W. Escalas 10 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntAlta400W.jpeg

Figura 10: Corriente en alta para carga de 400 W. Escalas 10 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntBaja600W.jpeg

Figura 11: Corriente en baja para carga de 600 W. Escalas 20 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntAlta600W.jpeg

Figura 12: Corriente en alta para carga de 600 W. Escalas 20 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntBaja800W.jpeg

Figura 13: Corriente en baja para carga de 800 W. Escalas 20 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntAlta800W.jpeg

Figura 14: Corriente en alta para carga de 800 W. Escalas 20 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntBaja1kW.jpeg

Figura 15: Corriente en baja para carga de 1 KW. Escalas 20 mV y 2 ms

8.2. Carga no lineal

Se calcula la potencia aparente de la carga por medio de las siguientes expresiones:

$$S = I \cdot V \quad (5)$$

$$\Delta S = V \Delta I + I \Delta V \quad (6)$$

El factor de potencia:

$$fp = \frac{P(salida)}{S} \quad (7)$$

$$\Delta fp = \frac{\Delta P(salida)}{S} + \frac{P(salida) \cdot \Delta S}{S^2} \quad (8)$$

De acuerdo a las mediciones y las expresiones previas se obtiene el siguiente cuadro:

Cuadro 4: Valores obtenidos para cargas no lineales

$V_{entrada}$ [V]	V_{salida} [V]	$I_{entrada}$ [A]	I_{salida} [A]	P (salida) [W]	Carga
28±1	54±2	3,0±0,1	1,55±0,05	70 ± 10	Inductiva
28±1	53±1	3,5±0,1	1,80±0,05	80 ± 10	Capacitiva
S [VA]			fp		
Inductiva	Llenar 1		Inductiva	Llenar 3	
Capacitiva	Llenar 2		Capacitiva	Llenar 4	

Se obtuvieron las siguientes curvas para ambas cargas:

lab5/RecursosLab5/shuntInductiva.jpeg

Figura 16: Corriente en baja para carga inductiva. Escala 5 mV y 2 ms

lab5/RecursosLab5/shuntResisCapacitiva.jpeg

Figura 17: Corriente en baja para carga resistiva capacitiva. Escala 5 mV y 2 ms

9. Resultados Teóricos

Utilizando el modelo del transformador del diagrama ??, se obtuvo de forma teórica para cargas de (200, 400, 600, 800, 1000) W el siguiente cuadro:

Cuadro 5: Regulación respecto a la carga lineal

$\frac{V_p}{a}$ [V]	Regulación	Carga lineal [W]	I(carga) [A]
		200	
		400	
		600	
		800	
		1000	

10. **Análisis de resultados**

11. **Conclusión**

12. Anexos

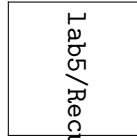


Figura 18: Hoja de datos 1



Figura 19: Hoja de datos 2