

Máquinas cc convencionales y motor universal

FESTO

Electricidad y Nuevas Energías

LabVolt Series

Manual del estudiante

FESTO

Manual del estudiante

Máquinas cc convencionales y motor universal



Alemania

Festo Didactic SE
Rechbergstr. 3
73770 Denkendorf
Tel.: +49 711 3467-0
Fax: +49 711 347-54-88500
did@festo.com

Estados Unidos

Festo Didactic Inc.
607 Industrial Way West
Eatontown, NJ 07724
Tel.: +1 732 938-2000
Sin cargo: +1-800-522-8658
Fax: +1 732 774-8573
services.didactic@festo.com

Canadá

Festo Didactic Ltée/Ltd
675, rue du Carbone
Québec (Québec) G2N 2K7
Tel.: +1 418 849-1000
Sin cargo: +1-800-522-8658
Fax: +1 418 849-1666
services.didactic@festo.com

www.festo-didactic.com

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic
es
588946



000058894600000000000100

Electricidad y Nuevas Energías

**Máquinas cc convencionales y
motor universal**

Manual del estudiante

588946

Nº de artículo: 588946 (Versión impresa) 592169 (CD-ROM)

Primera edición

Actualización: 12/2014

Por el personal de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 2014

Internet: www.festo-didactic.com

e-mail: did@de.festo.com

Impreso en Canadá

Todos los derechos reservados

ISBN 978-2-89640-881-8 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89640-883-2 (CD-ROM)

Depósito legal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

Depósito legal – Library and Archives Canada, 2014

El comprador adquiere un derecho de utilización limitado simple, no excluyente, sin limitación en el tiempo, aunque limitado geográficamente a la utilización en su lugar / su sede.

El comprador tiene el derecho de utilizar el contenido de la obra con fines de capacitación de los empleados de su empresa, así como el derecho de copiar partes del contenido con el propósito de crear material didáctico propio a utilizar durante los cursos de capacitación de sus empleados localmente en su propia empresa, aunque siempre indicando la fuente. En el caso de escuelas/colegios técnicos, centros de formación profesional y universidades, el derecho de utilización aquí definido también se aplica a los escolares, participantes en cursos y estudiantes de la institución receptora.

En todos los casos se excluye el derecho de publicación, así como la inclusión y utilización en Intranet e Internet o en plataformas LMS y bases de datos (por ejemplo, Moodle), que permitirían el acceso a una cantidad no definida de usuarios que no pertenecen al lugar del comprador.

Todos los otros derechos de reproducción, copiado, procesamiento, traducción, microfilmación, así como la transferencia, la inclusión en otros documentos y el procesamiento por medios electrónicos requieren la autorización previa y explícita de Festo Didactic GmbH & Co. KG.

La información contenida en este documento está sujeta a cambios sin previo aviso y no representa ningún compromiso por parte de Festo Didactic. Los materiales Festo descritos en este documento se suministran bajo un acuerdo de licencia o de confidencialidad.

Festo Didactic reconoce los nombres de productos como marcas de comercio o marcas comerciales registradas por sus respectivos titulares.

Todas las otras marcas de comercio son propiedad de sus respectivos dueños. Es posible que en este manual se utilicen otras marcas y nombres de comercio para referirse a la entidad titular de las marcas y nombres o a sus productos. Festo Didactic renuncia a todo interés de propiedad relativo a las marcas y nombres de comercio que no sean los propios.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Los siguientes símbolos de seguridad y de uso frecuente pueden encontrarse en este manual y en los equipos:

Símbolo	Descripción
	PELIGRO indica un nivel alto de riesgo que, de no ser evitado, ocasionará la muerte o lesiones de gravedad.
	ADVERTENCIA indica un nivel medio de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar la muerte o lesiones de gravedad.
	ATENCIÓN indica un nivel bajo de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar lesiones menores o leves.
	ATENCIÓN utilizado sin el <i>símbolo de riesgo</i>  , indica una situación de riesgo potencial que, de no ser evitada, puede ocasionar daños materiales.
	Precaución, riesgo de descarga eléctrica
	Precaución, superficie caliente
	Precaución, posible riesgo
	Precaución, riesgo al levantar
	Precaución, riesgo de atrapar las manos
	Aviso, radiación no ionizante
	Corriente continua
	Corriente alterna
	Corriente alterna y continua
	Corriente alterna trifásica
	Terminal de tierra (común)

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Símbolo	Descripción
	Terminal de conductor protegido
	Terminal de chasis
	Equipotencial
	Encendido (fuente)
	Apagado (fuente)
	Equipo protegido con aislamiento doble o reforzado
	Botón biestable en posición pulsado
	Botón biestable en posición no pulsado

Índice

Prefacio	XI
Acerca de este manual	XIII
Unidad 1 Principios básicos de las máquinas rotatorias.....	1
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	1
Funcionamiento básico de los motores	1
Principio del electroimán rotatorio	3
Principio del generador	7
Trabajo, par y potencia	10
Trabajo	10
Par	11
Potencia	12
Eficiencia del motor eléctrico	13
Ej. 1-1 Funcionamiento del motor de impulsión y el freno.....	15
PRINCIPIOS	15
Introducción al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	15
Freno de par constante de dos cuadrantes	15
Motor de impulsión/freno de velocidad constante en sentido horario	16
Motor de impulsión/Freno de velocidad constante en sentido antihorario	17
Mediciones de velocidad, par y potencia mecánica mediante el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	18
Funcionamiento como motor	18
Funcionamiento como generador	18
PROCEDIMIENTO.....	19
Instalación y conexiones.....	19
Funcionamiento del freno de par constante de dos cuadrantes	22
Funcionamiento del motor de impulsión de velocidad constante	25
Motor de impulsión de velocidad constante impulsando un generador con carga.....	30
CONCLUSIÓN.....	34
PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	34
Unidad 2 Motores y generadores cc.....	37
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	37
Principio de funcionamiento de los motores cc	37
Principio de funcionamiento de los generadores cc.....	41

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice

Ej. 2-1	Motor cc con excitación independiente.....	45
	PRINCIPIOS	45
	Circuito equivalente simplificado de un motor cc	45
	Relación entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido cuando la corriente del inducido es constante	47
	Relación entre el par motor y la corriente del inducido	48
	Relación entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido cuando varía la corriente del inducido....	48
	PROCEDIMIENTO.....	50
	Instalación y conexiones.....	50
	Determinar la resistencia del inducido.....	53
	Relación entre la velocidad del motor y la tensión del inducido.....	54
	Relación entre el par motor y la corriente del inducido	56
	Relación entre la disminución de la velocidad y la corriente del inducido.....	58
	Experimentos adicionales (optativo).....	60
	Características de la relación entre la velocidad del motor y la tensión del inducido y de la relación entre el par motor y la corriente del inducido en conexiones invertidas del inducido.	60
	CONCLUSIÓN.....	60
	PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	61
Ej. 2-2	Motores con excitación independiente, serie, shunt y compound	63
	PRINCIPIOS	63
	Motor cc con excitación independiente	63
	Motor serie	65
	Motor shunt.....	66
	Motor compound.....	67
	PROCEDIMIENTO.....	69
	Instalación y conexiones.....	69
	Características de la relación entre velocidad y tensión del inducido de un motor cc con excitación independiente	73
	Características de la relación entre el par y la corriente del inducido de un motor cc con excitación independiente	74
	Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor serie	76
	Experimentos adicionales (optativo).....	79
	Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor shunt.....	79
	Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor compound acumulativo.....	80

Índice

	CONCLUSIÓN.....	81
	PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	82
Ej. 2-3	Generadores cc con excitación independiente, shunt y compound	83
	PRINCIPIOS	83
	Introducción a los generadores cc.....	83
	Generador cc con excitación independiente	84
	Generador cc autoexcitado.....	87
	Características de la relación entre la tensión y la corriente de diversos generadores cc.....	88
	PROCEDIMIENTO.....	89
	Instalación y conexiones.....	89
	Características de la relación entre la tensión de salida y la velocidad de un generador cc con excitación independiente	92
	Características de la relación entre la corriente de salida y el par de un motor cc con excitación independiente	94
	Características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de campo de un generador cc con excitación independiente	97
	Características de la relación entre la tensión y la corriente de salida en un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija.....	100
	Experimentos adicionales (optativo).....	100
	Características de la relación entre la tensión y la corriente de salida en un generador shunt que funciona a velocidad fija.....	100
	Características de la relación entre la tensión y la corriente en un generador compound acumulativo que funciona a velocidad fija.....	102
	Características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida en un generador compound diferencial que funciona a velocidad fija	103
	CONCLUSIÓN.....	103
	PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	104
Unidad 3	Características especiales de los motores cc	107
	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	107

Índice

Ej. 3-1	Reacción de inducido y efecto de saturación	109
	PRINCIPIOS	109
	Reacción de inducido	109
	Efecto de saturación	112
	PROCEDIMIENTO.....	113
	Efecto de la reacción de inducido en la tensión de salida de un generador cc.....	113
	Instalación y conexiones.....	115
	Efecto de la reacción de inducido en el par.....	118
	Efecto de la saturación en el par	119
	Experimentos adicionales (optativo).....	124
	Efecto de la reacción de inducido en el par desarrollado por un motor cc.....	124
	CONCLUSIÓN.....	124
	PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	124
Ej. 3-2	Motor universal.....	127
	PRINCIPIOS	127
	PROCEDIMIENTO.....	129
	Instalación y conexiones.....	129
	Dirección de rotación de un motor serie cc	132
	Motor serie cc que funciona con energía ca.....	134
	Dirección de rotación de un motor universal que funciona con energía cc	136
	Motor universal que funciona con energía ca.....	139
	Efecto del bobinado de compensación.....	141
	Experimentos adicionales (optativo).....	143
	Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor universal alimentado con energía ca	143
	Motor shunt cc que funciona con energía ca	144
	CONCLUSIÓN.....	145
	PREGUNTAS DE REVISIÓN.....	145
	Apéndice A Tabla de utilización del equipo	149
	Apéndice B Índice de términos nuevos	151
	Apéndice C Tabla de impedancia para los módulos de carga	153
	Apéndice D Símbolos de los diagramas de circuitos	155
	Índice de términos nuevos	161

Índice

Bibliografía	163
--------------------	-----

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Prefacio

El programa comienza con una variedad de cursos que tratan en profundidad los temas básicos relacionados con el campo de la energía eléctrica, como los circuitos de corriente continua y alterna, transformadores de potencia, máquinas rotatorias, líneas de transmisión de corriente alterna y electrónica de potencia. El programa se basa en los conocimientos adquiridos por el estudiante a través de esos cursos básicos para luego aprender temas más avanzados como la producción doméstica de energía a partir de recursos renovables (viento y luz solar), generación de hidroelectricidad a gran escala, producción de energía eléctrica a gran escala a partir de la energía eólica (utilizando las tecnologías de los generadores de inducción de doble alimentación [DFIG], asíncronos y sincrónicos), tecnologías de redes inteligentes (SVC, STATCOM, transmisión HVDC, etc.), almacenamiento de la energía eléctrica en baterías y sistemas de control para pequeños vehículos y automóviles eléctricos.

¿Tiene sugerencias o críticas con respecto a este manual?

Si es así, envíenos un e-mail a services.didactic@festo.com.

Los autores y Festo Didactic estamos a la espera de sus comentarios.

Acerca de este manual

En el presente curso, *Máquinas cc convencionales y motor universal*, se describe, en primer lugar, el funcionamiento del motor de impulsión y el freno utilizados en todos los ejercicios prácticos. Los estudiantes aprenden a determinar la polaridad de la velocidad, el par y la potencia mecánica medidos para una máquina que funciona como motor o como generador. Luego, en el curso se describe al estudiante el funcionamiento de las siguientes máquinas rotatorias: Motores cc con excitación independiente, shunt serie y compound, generadores cc con excitación independiente, shunt y compound, y motor universal. Si bien se siguen usando en numerosas aplicaciones, estas máquinas son menos comunes en aplicaciones modernas a batería (por ejemplo, bicicletas eléctricas, scooters para discapacitados, etc.) en las que es fundamental la eficiencia energética.

Consideraciones de seguridad

Los símbolos de seguridad que pueden emplearse en este manual y en los equipos están listados en la tabla de Símbolos de seguridad al principio de este manual.

Los procedimientos de seguridad relacionados con las tareas que se le pedirán realizar están indicados en cada ejercicio.

Asegúrese de emplear el equipo protector adecuado al realizar las tareas requeridas en los ejercicios prácticos. Nunca realice una tarea si tiene alguna razón para pensar que una manipulación podría ser peligrosa para usted o sus compañeros.

Prerrequisito

Es requisito previo para este curso haber leído los manuales *Circuitos cc*, p/n 86350 y *Circuitos ca monofásicos*, p/n 86358.

Sistemas de unidades

Los valores de los parámetros medidos se expresan utilizando el Sistema internacional de unidades SI seguidos por los valores en el sistema de unidades anglosajón (entre paréntesis).

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Principios básicos de las máquinas rotatorias

OBJETIVO DE LA UNIDAD Al completar esta unidad, estará familiarizado con el funcionamiento básico de motores y generadores. Sabrá cómo calcular el trabajo, el par y la potencia que se producen en un sistema. También conocerá las funciones básicas del módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes empleado en este manual. Estará en condiciones de determinar la polaridad de la velocidad, el par y la potencia mecánica medidos en una máquina que funciona como motor o como generador.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios fundamentales abarcan los siguientes puntos:

- Funcionamiento básico de los motores
- Principio del electroimán rotatorio
- Principio del generador
- Trabajo, par y potencia
Trabajo. Par. Potencia.
- Eficiencia del motor eléctrico

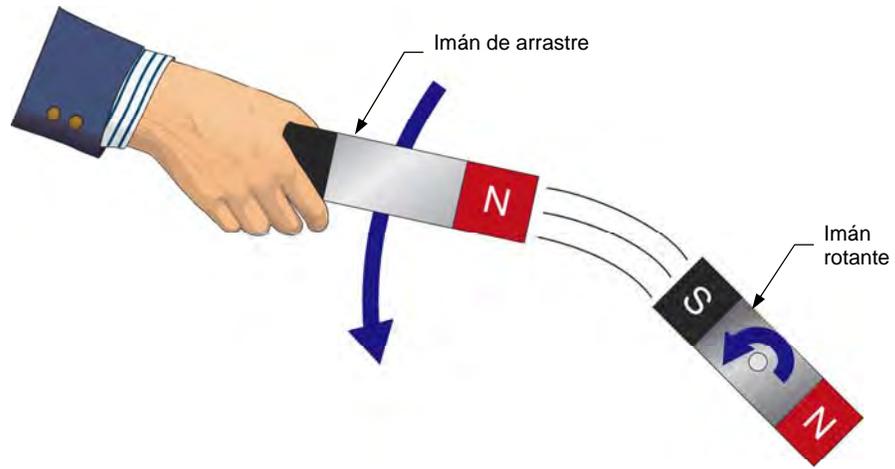
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Funcionamiento básico de los motores

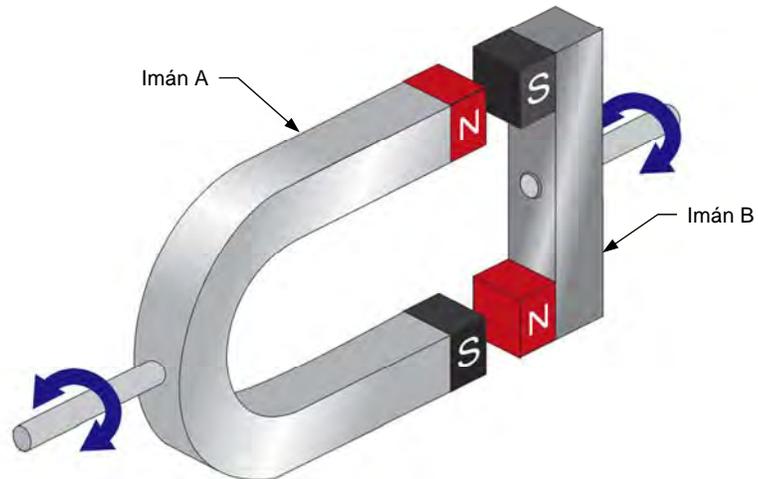
Todos están familiarizados con algún tipo de **motor eléctrico**, ya sea el pequeño **motor cc** de los juguetes, el motor cc de arranque de los automóviles o el **motor ca** de las lavadoras y secadoras de ropa. Los motores eléctricos también se utilizan en ventiladores, taladros, bombas y diversos dispositivos conocidos. ¿Pero cómo y por qué estos motores funcionan y por qué giran? La respuesta es sorprendentemente simple: debido a la interacción entre dos campos magnéticos.

Si se toman dos imanes y se fija uno de ellos a un eje de modo que pueda girar, y luego se mueve el segundo imán (imán de arrastre) de manera circular alrededor del primero, el imán rotante será arrastrado por la **fuerza magnética** de atracción entre ambos, como indica la figura 1-1(a). Como resultado, el imán fijado al eje rotará de manera sincrónica con el imán de arrastre.

La interacción entre dos imanes se muestra de manera más real en la figura 1-1(b). En la figura, los imanes A y B pueden rotar libremente en el mismo eje. Debido a la atracción magnética entre los dos, cuando el imán A gira, el B lo sigue y viceversa.



a) Imán rotante arrastrado por otro imán que gira alrededor



b) Interacción entre dos imanes rotatorios

Figura 1-1. Las fuerzas magnéticas que interactúan causan la rotación de los imanes.

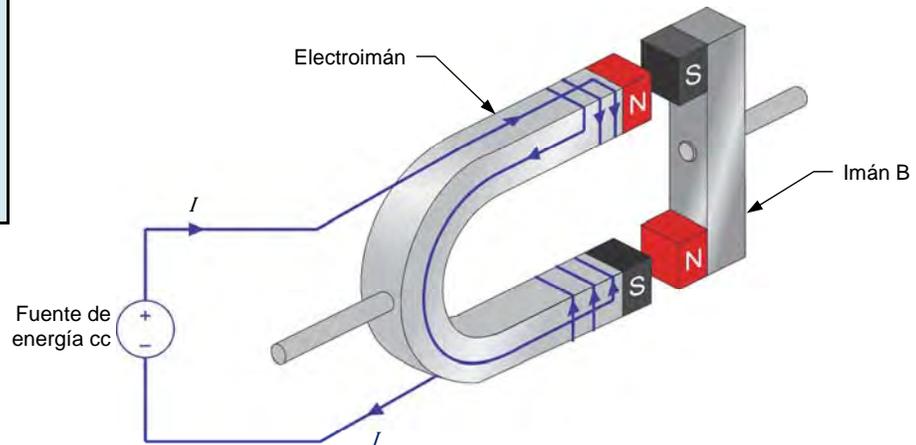
Principio del electroimán rotatorio



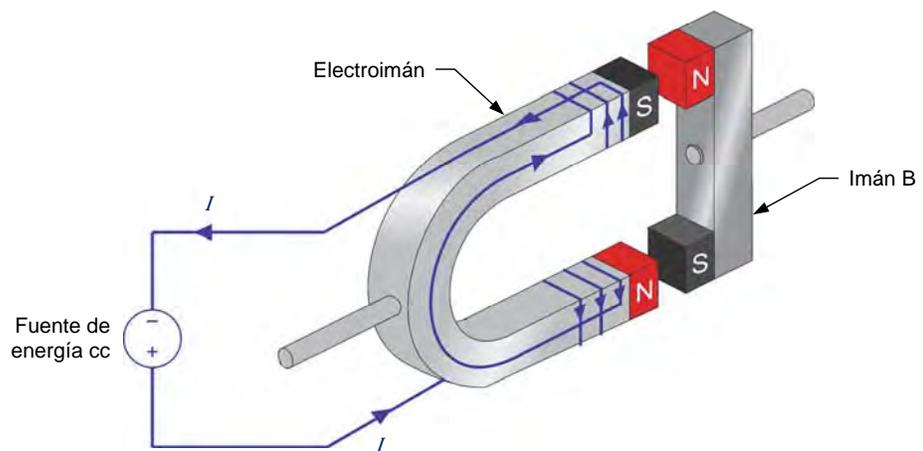
Figura 1-2. Suele atribuirse al físico Michael Faraday el descubrimiento de la inducción electromagnética.

La figura 1-3(a) muestra cómo utilizar el imán A de la figura 1-1(b) para construir un **electroimán**. Primero, se enrolla un alambre de cobre alrededor del núcleo de hierro del imán. Los extremos del arrollamiento o bobinado se conectan a una fuente de alimentación cc de modo que fluya corriente en el bobinado, por tanto se produce un **polo magnético** norte y uno sur. Debido a dichos polos magnéticos inducidos, el imán A se ha convertido en un electroimán.

Cuando se gira manualmente el electroimán de la figura 1-3, el imán B rota como los dos imanes de la figura 1-1. A primera vista, esta configuración no ofrece ventaja alguna pues se debe rotar un primer objeto (el electroimán) alrededor de otro (imán B) con el fin de que éste último gire. Además, los conductores que van a la fuente de alimentación tendrían que girar junto con la fuente para evitar que estos se enreden en el electroimán. Esto no sería conveniente.



a)



b)

Figura 1-3. El flujo de corriente eléctrica genera un electroimán.

Sin embargo, si se invierte la polaridad de la fuente de alimentación cc como muestra la figura 1-3(b), se intercambian las posiciones de los polos norte y sur, haciendo que el imán B gire media vuelta. Por tanto, al invertir la dirección del flujo de corriente en el electroimán, el imán B gira sin que el electroimán tenga que hacerlo. Si se combinan dos electroimanes, dos fuentes de alimentación cc y se invierte continuamente la tensión y polaridad de las fuentes, es posible hacer que el imán B gire en una dirección dada sin necesidad de mover el electroimán.

La figura 1-4 muestra cómo modificar el electroimán de la figura 1-3 para lograr lo anterior. Como lo ilustra la figura 1-4, cuando se alternan las corrientes I_1 e I_2 que fluyen en los dos electroimanes, los polos magnéticos que se crean en éstos cambian de polaridad de manera secuencial. La secuencia resultante de atracción y repulsión entre los imanes hace que el imán rotante gire en sentido horario. Por tanto, la conmutación de corriente resulta ser el equivalente eléctrico de un imán rotante. Este es el principio de operación de todos los motores.

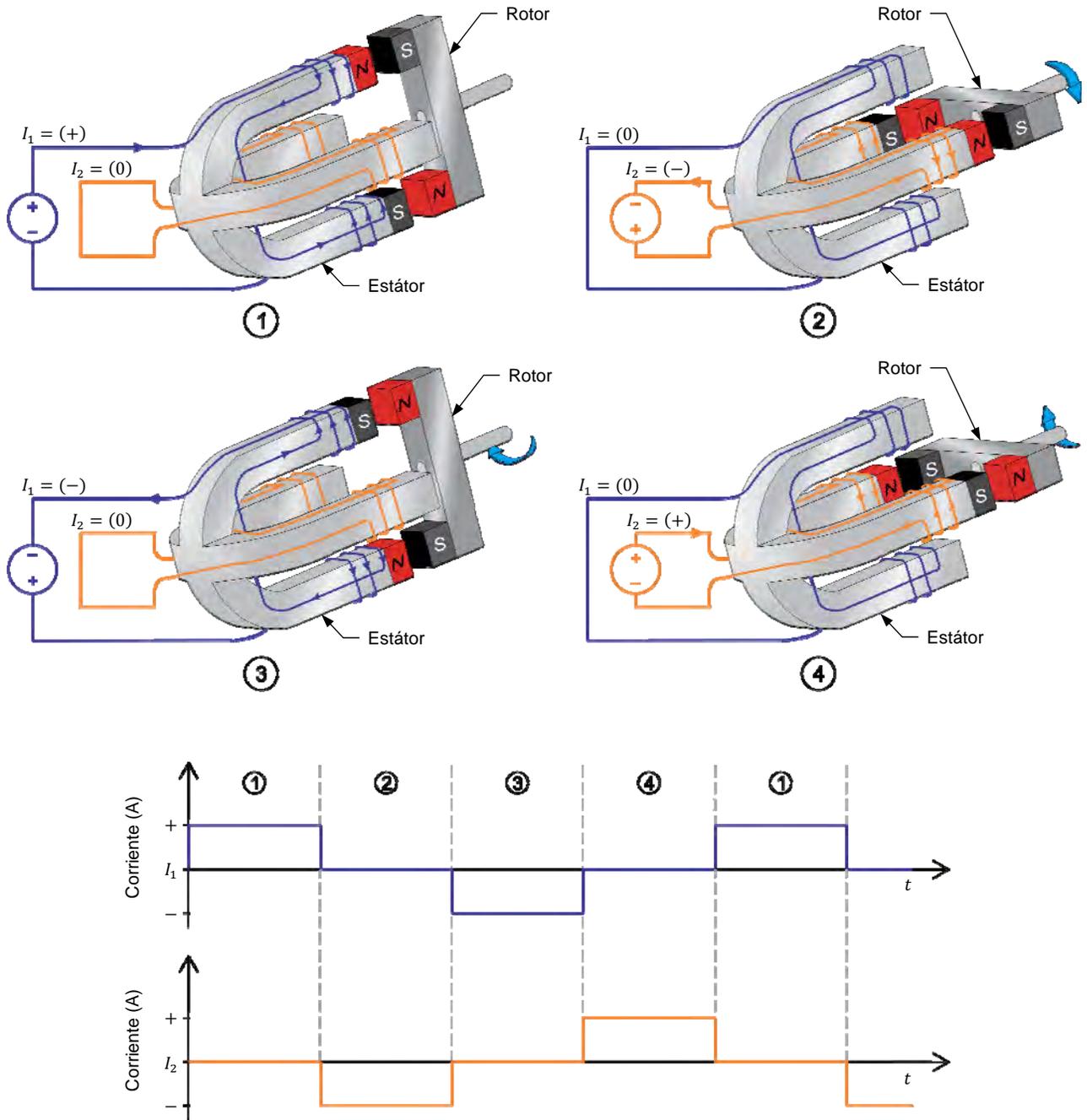


Figura 1-4. Electroimán que produce la rotación en sentido horario de un imán y gráficas de las corrientes que fluyen a cada instante por éste.

Es posible invertir la dirección de rotación del imán rotatorio intercambiando las corrientes I_1 e I_2 , como se muestra en la figura 1-5.

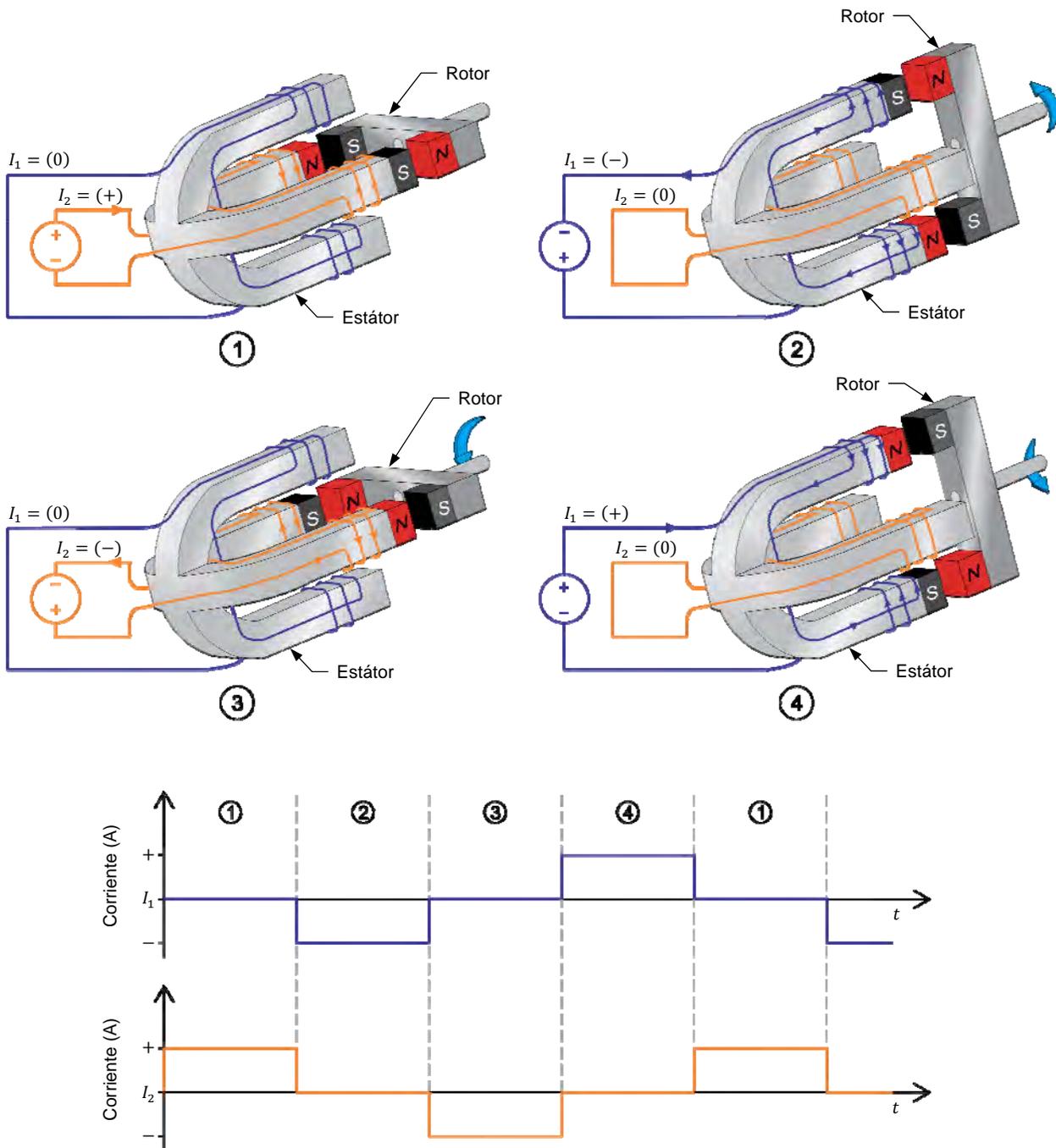


Figura 1-5. Electroimán que produce la rotación en sentido antihorario del imán y gráficas de las corrientes que fluyen a cada instante en dicho electroimán.

La máquina de la figura 1-4 y la figura 1-5, que convierte la energía eléctrica (es decir, la energía producida por la fuente de energía cc) en energía mecánica (es decir, la energía del imán rotatorio), se llama motor.

Un motor consta, básicamente, de dos componentes principales: un **estátor** (electroimán) y un **rotor** (imán rotatorio). El estátor es el componente del motor que genera el campo magnético. Como su nombre sugiere, el estátor no se mueve con respecto a los otros componentes del motor. Por su parte, el rotor es el componente del motor que rota a lo largo o dentro del estátor y produce así trabajo mecánico. En motores cc reales, el rotor está compuesto de varios bucles de alambre, como se muestra en la figura 1-6.



Figura 1-6. En motores cc reales, el rotor está compuesto de varios bucles de alambre.

Principio del generador

El funcionamiento del **generador eléctrico** (o alternador) se basa en la ley de **inducción electromagnética** de Faraday, según la cual:

1. Se induce una tensión entre los terminales de un bucle de alambre conductor si el flujo magnético que pasa por el bucle varía en función del tiempo.
2. El valor de la tensión inducida es proporcional a la variación del flujo magnético.

Es posible calcular la tensión inducida entre los terminales de un bucle de alambre cuando varía el flujo magnético que lo atraviesa mediante la siguiente ecuación:

En la ecuación 1-1, no se tiene en cuenta la polaridad de la tensión inducida, ya que no es importante a los fines de este análisis.

$$E = N_{\text{vuelatas}} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1-1)$$

- donde E es la tensión inducida a través de los terminales del bucle de alambre, expresada en voltios (V).
 $N_{vueltas}$ es el número de espiras o vueltas de alambre en el bucle.
 $\Delta\Phi$ es la variación en la intensidad del flujo magnético que pasa por el bucle, expresada en webers (Wb).
 Δt es el intervalo de tiempo durante el cual ocurre la variación del flujo magnético, expresada en segundos (s).

La figura 1-7 muestra un ejemplo de la tensión inducida en un bucle expuesto a un flujo magnético que varía en intensidad.

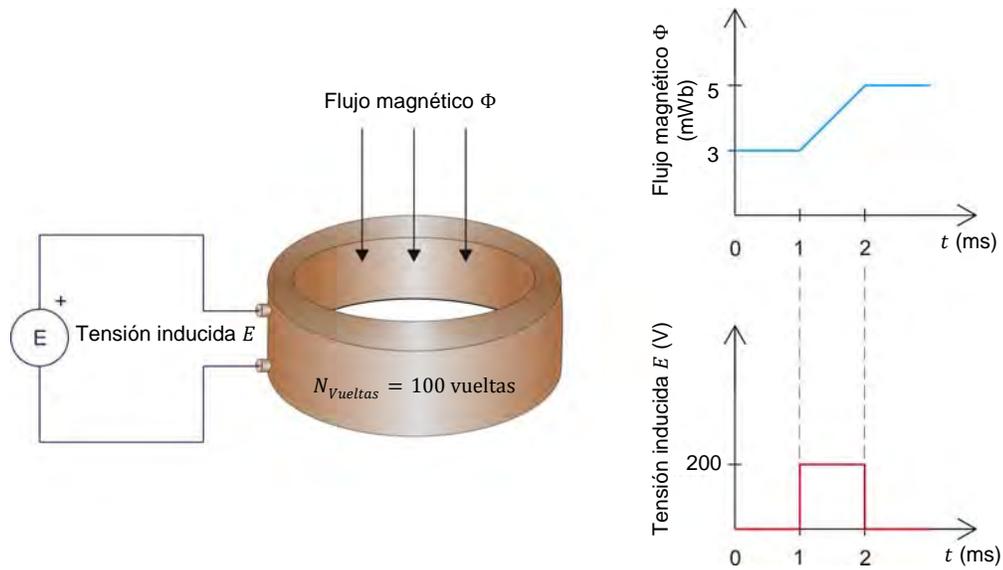


Figura 1-7. Tensión inducida en un bucle de alambre expuesto a un flujo magnético de intensidad variable.

Empleando los valores dados en la figura 1-7, la tensión E inducida en es igual a:

$$E = N_{vueltas} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 100 \text{ vueltas} \cdot \frac{0,005 \text{ Wb} - 0,003 \text{ Wb}}{0,001 \text{ s}} = 200 \text{ V}$$

El principio de operación de un generador se ilustra utilizando el electroimán y el imán rotante de la figura 1-4 y la figura 1-5. Si el imán (es decir, el rotor) se gira manualmente, se crea una variación del campo magnético en el electroimán (es decir, el estátor). Según la ley de inducción electromagnética de Faraday, esta variación en el campo magnético induce una tensión variable en los conductores arrollados en el estátor, como muestra la figura 1-8.

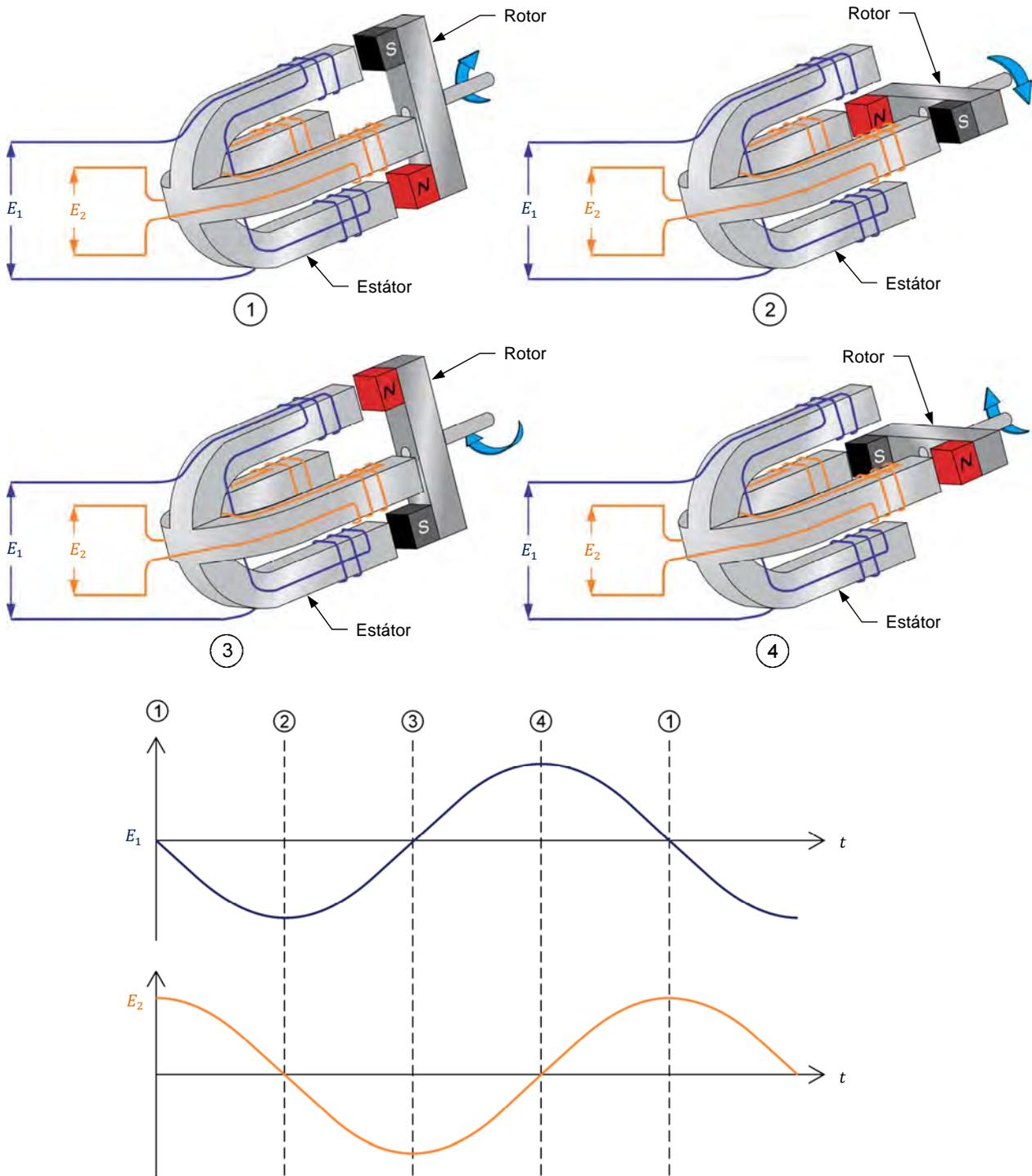


Figura 1-8. Operación del generador y formas de onda de tensión resultantes e inducidas a través de los bobinados del estátor en cada instante.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

La máquina de la figura 1-8, que convierte energía mecánica (es decir, la energía del imán rotante) en energía eléctrica (es decir, la energía de la tensión inducida a través de los conductores del estátor), se llama generador (o alternador).



Figura 1-9. Los generadores sincrónicos trifásicos producen la mayor parte de la electricidad mundial. Esta fotografía muestra la planta hidroeléctrica de la Presa de las Tres Gargantas, situada sobre el río Yangtsé, en China. La central cuenta con 30 generadores sincrónicos trifásicos de 700 MW, cuyo peso es de 6.000.000 kg cada uno (unas 6.000 toneladas).

Trabajo, par y potencia

Trabajo

El trabajo mecánico W que se realiza cuando una fuerza F mueve un objeto una distancia d se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$W = F \cdot d \quad (1-2)$$

donde W es el trabajo mecánico realizado por la fuerza, expresado en julios (J) o en libras-fuerza por pulgada (lbf-pulg.).

F es la magnitud de la fuerza que mueve el objeto, expresada en newtons (N) o en libras-fuerza (lbf).

d es la distancia que la fuerza hace mover el objeto, expresada en metros (m) o en pulgadas (pulg.).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

La figura 1-10 muestra el ejemplo de un bloque que se desplaza sobre una distancia d de 1 m (39,4 pulg.) por una fuerza F de 1 N (0,22 lbf). Utilizando la ecuación (1-2), se puede calcular que se ha realizado un trabajo mecánico W de 1 J (8,85 lbf·pulg.).

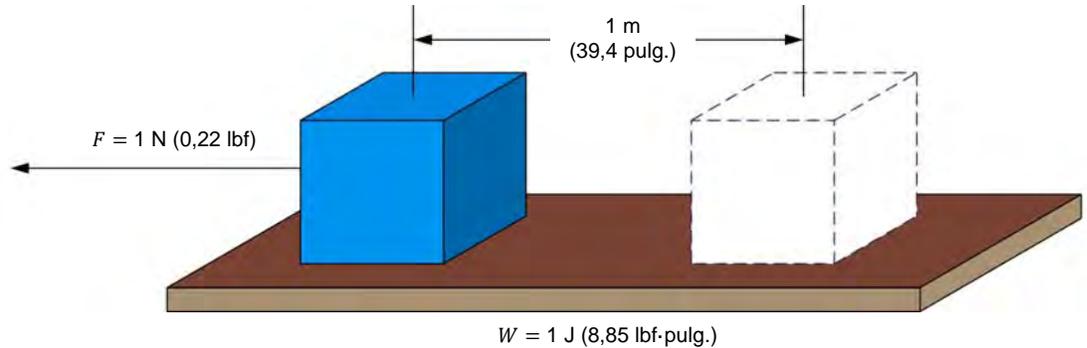


Figura 1-10. Trabajo necesario para mover un bloque.

Par

Considere ahora que el bloque de la figura 1-10 se mueve la misma distancia utilizando una polea que tiene un radio r , como se muestra en la figura 1-11.

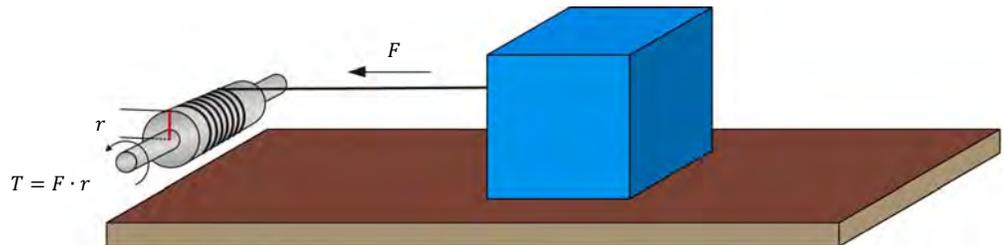


Figura 1-11. Desplazamiento de un bloque mediante una polea.

Se debe aplicar una fuerza de torsión en el eje de la polea para hacerla girar de modo que la cuerda enrollada alrededor de dicha polea tire del bloque con una fuerza F . Esta fuerza de torsión se conoce como **par** T y se define mediante la siguiente ecuación:

$$T = F \cdot r \quad (1-3)$$

- donde
- T es el par ejercido sobre el eje de la polea, expresado en newtons por metro (N·m) o en libras-fuerza por pulgada (lbf·pulg.).
 - F es la magnitud de la fuerza que actúa sobre el eje de la polea, expresada en newtons (N) o en libras fuerza (lbf).
 - r es el radio de la polea, expresado en metros (m) o en pulgadas (pulg.).

Al final de cada rotación completa de la polea, el bloque se ha desplazado una distancia de $(2\pi \cdot r)$ metros o pulgadas, lo que significa que se ha hecho un trabajo de $(2\pi \cdot r \cdot F)$ J o lbf-pulg. Debido a que $T = F \cdot r$, la cantidad de trabajo W efectuado en una revolución se puede expresar como $(2\pi \cdot T)$ J o lbf-pulg.

Potencia

La potencia P se define como el trabajo por unidad de tiempo y se calcula utilizando la siguiente ecuación, cuando el trabajo W está expresado en julios:

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-4)$$

donde P es la potencia del dispositivo que realiza el trabajo, expresada en vatios (W).

W es la cantidad de trabajo realizado, expresado en julios (J).

t es el tiempo que toma realizar el trabajo, expresado en segundos (s).

En la ecuación (1-5) y la ecuación (1-7), el término $1/8,85$ se utiliza para convertir el trabajo W , expresado en libras-fuerza por pulgada (lbf-pulg.), en trabajo expresado en julios (J).

Cuando el trabajo W está expresado en libras-fuerza por pulgada (lbf-pulg.), se debe utilizar la siguiente ecuación para calcular la potencia P .

$$P = \frac{W}{t} \cdot \frac{1}{8,85} = \frac{W}{8,85 \cdot t} \quad (1-5)$$

donde W es la cantidad de trabajo realizado, expresada en libras-fuerza por pulgada (lbf-pulg.).

En la ecuación (1-6) y la ecuación (1-7), el término $1/60$ s se utiliza para convertir la velocidad n del motor, expresada en revoluciones por minuto (rpm), en velocidad expresada en revoluciones por segundo (r/s).

Debido a que la potencia es trabajo realizado por unidad de tiempo, la potencia P de un motor girando a una **velocidad de rotación** n se puede calcular utilizando la siguiente ecuación, cuando el par T está expresado en newtons por metro (N·m).

$$P = n \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 2\pi T = n \cdot \frac{1 \text{ min}}{9,55 \text{ s}} \cdot T = \frac{n \cdot T}{9,55} \quad (1-6)$$

donde n es la velocidad de rotación del motor, expresada en revoluciones por minuto.

Cuando el par T está expresado en libras-fuerza por pulgada (lbf·pulg.), la potencia P del motor se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$P = n \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 2\pi T \cdot \frac{1}{8,85} = n \cdot T \cdot \frac{1 \text{ min}}{84,5 \text{ s}} = \frac{n \cdot T}{84,5} \quad (1-7)$$

Es posible obtener la potencia P , expresada en caballos de fuerza (hp), para toda potencia P dada, expresada en vatios (W), dividiendo el valor de la potencia en vatios por 746.

Eficiencia del motor eléctrico

La **eficiencia (o rendimiento) del motor** eléctrico es la relación entre la **potencia mecánica** P_m producida por el motor y la potencia eléctrica P_{in} suministrada al motor. Expresado en una ecuación:

$$\text{Eficiencia del motor eléctrico (\%)} = \frac{P_m}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (1-8)$$

La potencia mecánica P_m de un motor depende de su velocidad y par, y se puede determinar mediante una de las dos fórmulas descritas en la sección anterior [es decir, ecuación (1-6) o ecuación (1-7)], según si el par está expresado en newton-metros (N·m) o libras-fuerza por pulgada (lbf·pulg.).

Normalmente la eficiencia de un motor eléctrico se representa en un gráfico que relaciona la eficiencia con la potencia mecánica de salida. Por ejemplo, en la figura 1-12 se muestra la clásica curva de eficiencia en función de la potencia mecánica de salida (en azul) para un motor cc de 10 kW. Cabe señalar que a veces, en lugar de utilizarse un gráfico, se especifica la eficiencia del motor eléctrico mediante un valor numérico expresado en potencia nominal.

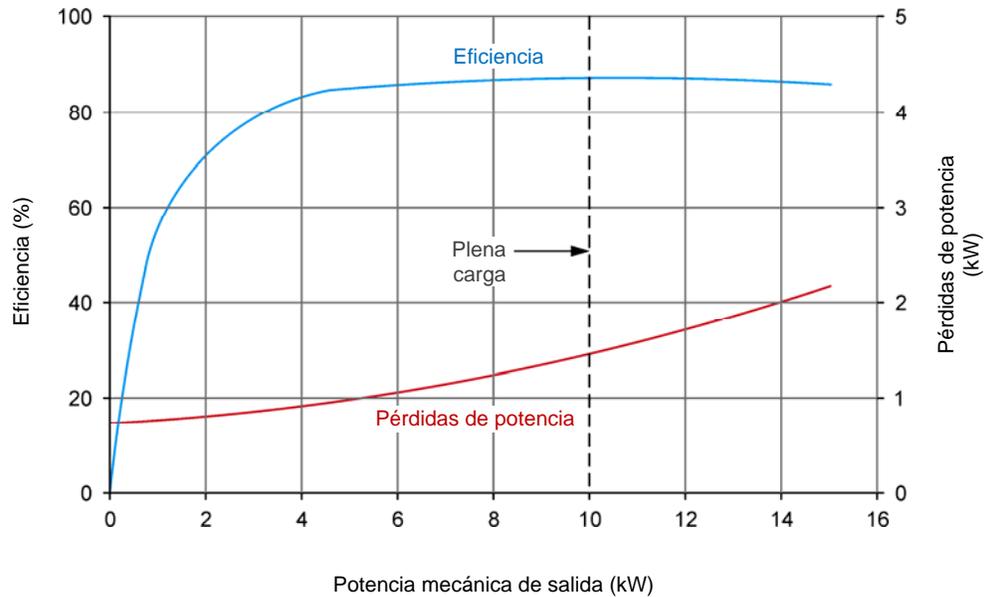


Figura 1-12. Relación característica entre las pérdidas y la eficiencia de un motor cc de 10 kW cc en función de la potencia mecánica de salida.

Existen dos tipos de pérdidas de potencia en máquinas rotatorias: pérdidas mecánicas y pérdidas eléctricas. Las pérdidas mecánicas se deben a la fricción de los cojinetes, la fricción de las escobillas y la pérdida por rozamiento o por fricción del ventilador de refrigeración. Las pérdidas mecánicas aumentan de forma significativa a medida que la velocidad del motor pasa de cero a su valor nominal, pero se mantienen prácticamente constantes en el rango normal de operaciones, entre las condiciones en vacío y de plena carga.

Las pérdidas eléctricas se clasifican en pérdidas en el cobre, en las escobillas y en el hierro. Las pérdidas en el cobre (pérdidas RI^2) se deben a la resistencia de los conductores utilizados en la máquina. Aumentan con el cuadrado de la corriente y su consecuencia es la disipación de calor. En general, las pérdidas en las escobillas son muy reducidas y se deben a la resistencia del contacto de éstas, lo que causa una caída de tensión que suele ser de 0,8 a 1,3 V. Por último, las pérdidas en el hierro se deben al fenómeno de histéresis y a las corrientes de Foucault y dependen de la densidad del flujo magnético, la velocidad o frecuencia de rotación, el tipo de acero y el tamaño del motor.

Por ejemplo, en la figura 1-12 se muestra la clásica curva de pérdidas en función de la potencia mecánica de salida (en rojo) para un motor cc de 10 kW.

Funcionamiento del motor de impulsión y el freno

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al finalizar este ejercicio, usted estará familiarizado con las funciones básicas del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes empleado en este manual. También conocerá la polaridad de la velocidad, el par y la potencia mecánica de una máquina que funciona como motor o como generador.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Introducción al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
Freno de par constante de dos cuadrantes. Motor de impulsión/freno de velocidad constante en sentido horario. Motor de impulsión/Freno de velocidad constante en sentido antihorario.
- Mediciones de velocidad, par y potencia mecánica mediante el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
Funcionamiento como motor. Funcionamiento como generador.

PRINCIPIOS

Introducción al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes

El módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes utilizado en este manual consiste en complejos circuitos de electrónica de potencia, un microcontrolador y un motor cc de imán permanente. El módulo se puede emplear para implementar diferentes funciones. Todas las funciones mecánicas (es decir todas aquellas que utilizan el motor cc) habilitan el módulo para que opere como un **dinamómetro**, es decir, para medir el par realizado por la máquina conectada a éste. Para realizar la mayoría de los ejercicios de este manual, se utilizarán las tres funciones básicas siguientes:

1. Freno de par constante de dos cuadrantes
2. Motor de impulsión/freno de velocidad constante en sentido horario
3. Motor de impulsión/freno de velocidad constante en sentido antihorario

Estas tres funciones se explican con más detalle a continuación.

Freno de par constante de dos cuadrantes

Esta función se utiliza para estudiar las máquinas rotatorias trifásicas que operan como motor (es decir, que convierten energía eléctrica en energía mecánica). El freno de par constante se puede emplear para cargar mecánicamente un motor (es decir, para crear oposición al par que produce el motor), como muestra la figura 1-13.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

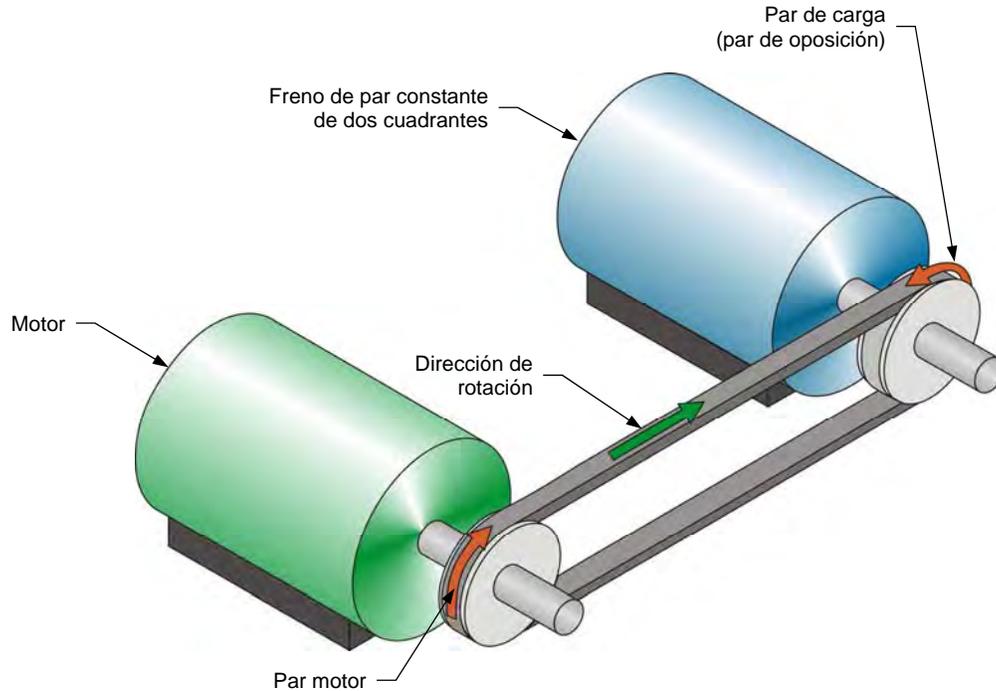


Figura 1-13. Motor acoplado al freno de par constante de dos cuadrantes.

Cuando el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes opera como freno de par constante de dos cuadrantes, es posible configurar la magnitud del par de carga que produce el freno. La ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes del software LVDAC-EMS, incluye los medidores de los parámetros velocidad, par, potencia y energía para la máquina bajo prueba. Por ejemplo, el par indicado por el medidor es el par que produce el motor bajo prueba y no el par de carga de dicho freno.

Cuando se determina el par del motor acoplado al módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, éste compensa automáticamente el par de fricción propio y el de la correa. Por tanto, el par indicado por el medidor de la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes del software LVDAC-EMS, representa el par **real** en el eje del motor bajo prueba. Igualmente, la potencia mecánica indicada en dicha ventana representa la potencia mecánica **corregida** en el eje del motor.

Motor de impulsión/freno de velocidad constante en sentido horario

Esta función de control se utiliza principalmente para estudiar las máquinas rotatorias trifásicas que operan como generadores (es decir, que convierten energía mecánica en energía eléctrica). Este motor de impulsión/freno se puede utilizar para impulsar una máquina rotatoria (es decir, para hacer que esta máquina gire con el motor de impulsión/freno) como lo muestra la figura 1-14. En este caso, el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes opera como **motor de impulsión**. Dado que el motor de impulsión/freno puede operar en dos cuadrantes, éste puede emplearse para reducir la velocidad de una máquina que funciona como motor (es decir, para crear un par de oposición al par que produce el motor). En este caso, el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes funciona como freno.

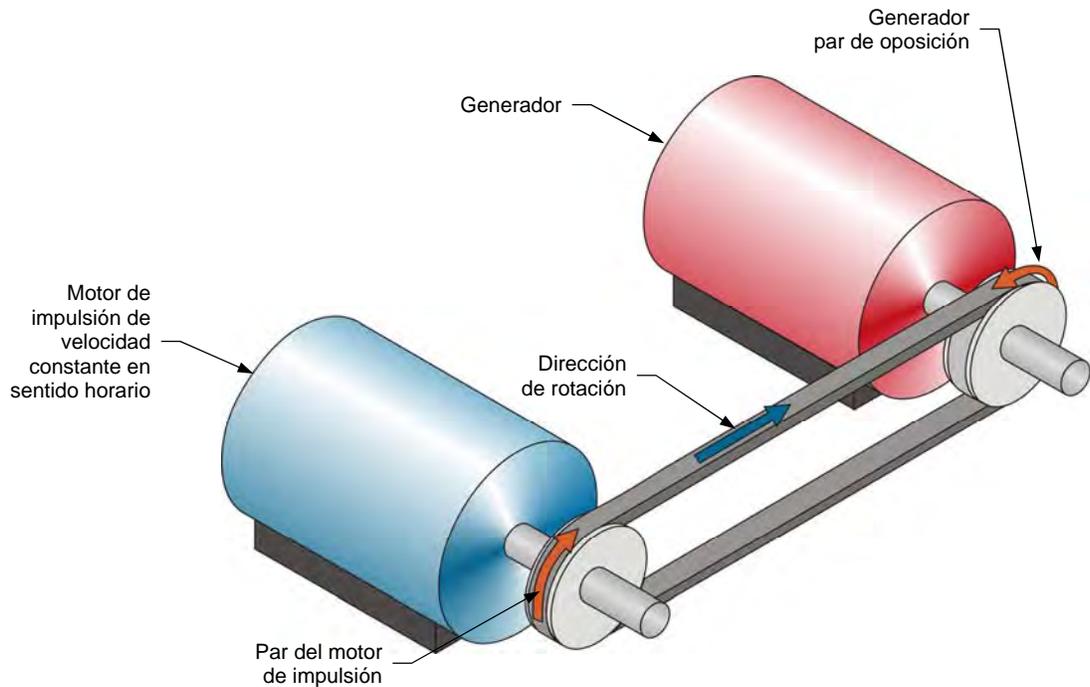


Figura 1-14. Motor de impulsión de velocidad constante en sentido horario acoplado a un generador.

Cuando el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes opera como motor de impulsión/freno de velocidad constante, es posible configurar la velocidad de rotación. En la ventana del módulo, los medidores de velocidad, par, potencia y energía, indican las mediciones de dichos parámetros para la máquina bajo prueba.

Cuando el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes opera como motor de impulsión/freno de velocidad constante, éste mantiene estable la velocidad de la máquina a la que está conectado. Si la velocidad difiere del valor especificado, el módulo ajusta automáticamente el par producido con el fin de estabilizar la velocidad en el valor deseado.

Motor de impulsión/Freno de velocidad constante en sentido antihorario

Esta función es idéntica a la de motor de impulsión/freno de velocidad constante en sentido horario, excepto que en ésta el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes gira en sentido contrario. La polaridad de las mediciones de los parámetros de la máquina bajo prueba se modifican correspondientemente.

Mediciones de velocidad, par y potencia mecánica mediante el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes

Por convención, la velocidad de una máquina que rota en sentido horario es de polaridad positiva y es negativa si rota en sentido antihorario.

La polaridad de las mediciones del par y la potencia mecánica de una máquina conectada al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, depende del modo de operación de dicha máquina. Existen dos modos: motor y generador.

Funcionamiento como motor

Como muestra la figura 1-13, cuando una máquina opera como motor, el par está en la misma dirección que la rotación del motor, es decir, la velocidad a la cual gira el motor tiene igual polaridad que el par de éste. Por tanto, la potencia mecánica que produce el motor, que es proporcional al producto de la velocidad y el par, es siempre positiva, sin importar la dirección de rotación (es decir, sin importar si la velocidad y el par son positivos o negativos). Esto es consistente con la definición de motor, la cual dice que convierte energía eléctrica en energía mecánica, por lo cual el valor de la potencia mecánica es positivo.

Todo par de carga aplicado al motor (como el par creado por el freno en la figura 1-13) actúa en contra del par que produce éste y por tanto tiene una polaridad opuesta al par y velocidad del motor.

Funcionamiento como generador

Como se observa en la figura 1-14, cuando una máquina opera como generador, su par está en dirección opuesta a la dirección de rotación, es decir, la velocidad a la cual rota el generador tiene una polaridad opuesta a la polaridad de su par. Por tanto, la potencia mecánica en el eje del generador, proporcional al producto de su velocidad y par, es siempre negativa, sin importar la dirección de rotación del generador (es decir, sin importar si la velocidad del generador es positiva o negativa). Esto es consistente con la definición de generador, la cual dice que convierte energía mecánica en energía eléctrica, resultando en un valor negativo de la potencia mecánica.

El par que produce la máquina que impulsa el generador (tal como el motor de impulsión de la figura 1-14) actúa en contra del par del generador y por tanto es de la misma polaridad de la velocidad de éste.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Instalación y conexiones
- Funcionamiento del freno de par constante de dos cuadrantes
- Funcionamiento del motor de impulsión de velocidad constante
- Motor de impulsión de velocidad constante impulsando un generador con carga

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones elevadas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana sin apagar la fuente de alimentación, a menos que se especifique lo contrario.

Instalación y conexiones

En esta sección, acoplará mecánicamente el Motor/generador sincrónico al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes. Luego ajustará el equipo para estudiar el funcionamiento del freno de par constante de dos cuadrantes.

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo que se encuentra en el Apéndice A para obtener la lista de dispositivos requeridos para realizar este ejercicio.

Instale el equipo en el [Puesto de trabajo](#).

Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el [Motor/alternador sincrónico](#) al [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#).



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

2. Asegúrese de que el interruptor principal del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) se encuentre en la posición **O** (apagado), luego conecte la [Entrada de potencia](#) a una salida de energía ca de la pared.
3. En la [Fuente de alimentación](#), asegúrese de que el interruptor principal y el de energía ca de 24 V se encuentren en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión indique 0% (girada completamente en sentido antihorario). Conecte la [Fuente de alimentación](#) a una salida de energía ca trifásica.
4. Conecte la [Entrada de potencia](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y de control \(DACI\)](#) a la fuente de energía ca de 24 V de la [Fuente de alimentación](#).

Encienda la fuente de energía ca de 24 V de la Fuente de alimentación.

5. Conecte el puerto USB de la Interfaz de adquisición de datos y de control a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 1-15. Use la salida de tensión cc variable (terminales 7 y N) de la Fuente de alimentación para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_s . Use la salida de tensión cc fija (terminales 8 y N) de la Fuente de alimentación para implementar la fuente de energía cc de tensión fija. I1 es una entrada de corriente de la Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI).

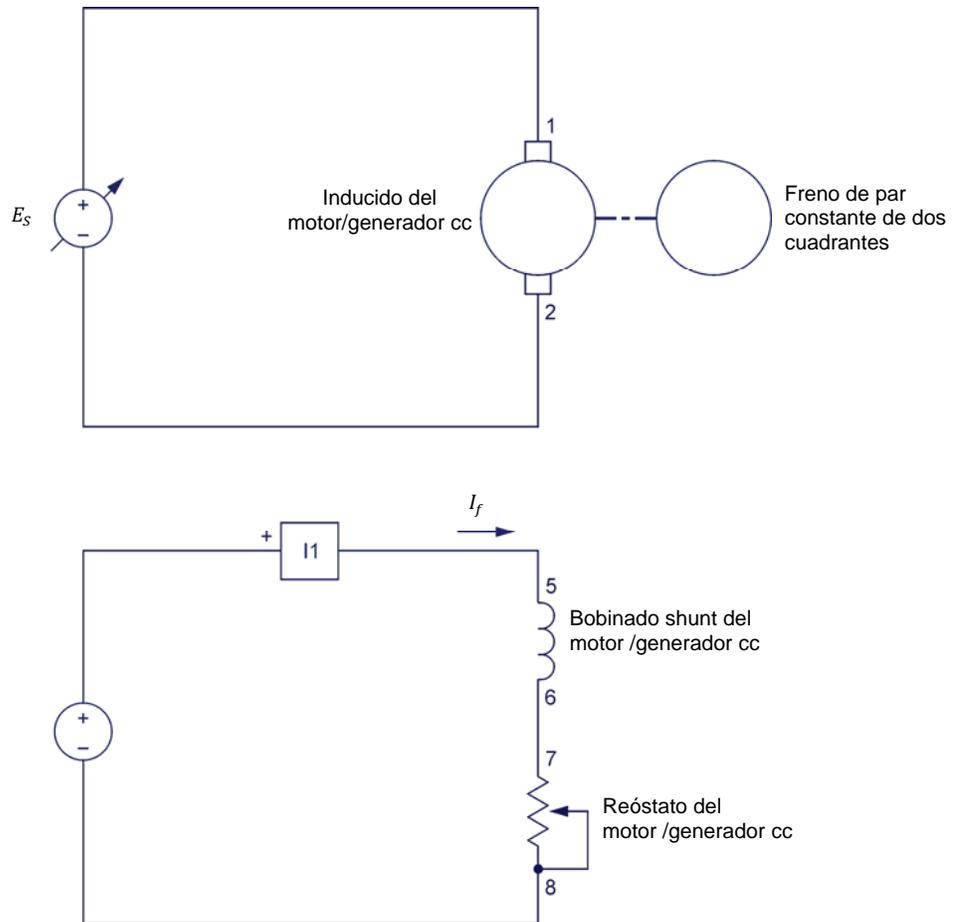


Figura 1-15. Motor/generador cc acoplado a un freno.

7. En el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, ajuste el interruptor *Modo de operación* en *Dinamómetro*. Esta configuración permite

que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como motor de impulsión, freno o ambos, según la función seleccionada.

Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

8. Encienda la computadora y ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS** asegúrese de que se hayan detectado la **Interfaz de adquisición de datos y de control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Asegúrese de que la función **Instrumentación informatizada** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** esté disponible. Asimismo, seleccione la tensión y frecuencia correspondientes a la red eléctrica local, luego haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.

9. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y luego realice las siguientes configuraciones:

- Ajuste el parámetro **Función** en **Freno de par constante de dos cuadrantes**. Esta configuración hace que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como un freno de dos cuadrantes con un valor de par que corresponde al parámetro **Par**.
- Ajuste el parámetro **Relación de la polea** en 24:24. la primera y segunda cifras de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y la cantidad de dientes de la polea de la máquina bajo prueba (es decir, el **Motor/generador cc**), respectivamente. Es importante verificar que el parámetro **Relación de la polea** corresponda a la relación real de la polea entre el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y la máquina bajo prueba.



*La relación de la polea entre el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y todas las máquinas que se prueban en este manual es 24:24.*

- Asegúrese de que el parámetro **Control del par** esté ajustado en **Perilla**. Esto permite controlar manualmente el par del freno de dos cuadrantes.
- Configure el parámetro **Par** en 0,0 N·m (o 0,0 lbf·pulg.). Esto configura el comando par del **Freno de par constante de dos cuadrantes** en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).



*También se puede configurar el comando par mediante la perilla **Par** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.*

10. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Configure el medidor *I1* como amperímetro cc.

Haga clic en el botón **Regeneración continua** para habilitar la actualización continua de los valores de los diversos medidores de la aplicación **Aparatos de medición**.

Funcionamiento del freno de par constante de dos cuadrantes

En esta sección, hará que el motor/generador cc gire en sentido horario y observará qué le sucede al par producido por el motor cuando aumenta el par de carga aplicado al mismo. Observará la polaridad del par y de la potencia mecánica producida por el motor/generador cc y confirmará que esta máquina está funcionando como motor. A continuación, hará rotar el motor/generador cc en sentido antihorario y observará lo que ocurre con el par producido por el motor, la polaridad del par y la potencia mecánica producida por el mismo.

11. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido) y luego la perilla de control de tensión en 100%.

En el **Motor/generador cc**, ajuste la perilla del **Reóstato de campo** de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor *I1* en la ventana **Aparatos de medición**) sea igual al valor indicado en la tabla 1-1 para su red eléctrica ca local.

Tabla 1-1. Corriente de campo I_f

Red eléctrica ca local		Corriente de campo I_f (mA)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	300
220	50	190
240	50	210
220	60	190

12. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** arranque el **Freno de par constante de dos cuadrantes** ajustando el parámetro **Estado** en la opción **En marcha** o haciendo clic en el botón **Marcha/Parada**.

El indicador **Velocidad** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** indica la velocidad n de rotación del **Motor/generador cc**. ¿Es positiva esa velocidad, lo que indicaría que el motor está rotando en sentido horario?

Sí No

13. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, aumente lentamente el valor del parámetro **Par** a 1,0 N·m (8,8 lbf·pulg.).

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Mientras lo hace, observe el par T producido por el **Motor/generador cc** (indicado por el medidor de **Par** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**).

¿Qué sucede con el par T producido por el **Motor/generador cc** a medida que aumenta el par de carga que aplica al motor el **Freno de par constante de dos cuadrantes**?

14. ¿Cuál es la polaridad del par T producido por el **Motor/generador cc**?
-

¿Cuál es la polaridad de la velocidad n del **Motor/generador cc**?

¿Tiene el par T la misma polaridad que la velocidad n del **Motor/generador cc**?

Sí No

15. La potencia mecánica P_m del **Motor/generador cc** (indicada por el medidor **Potencia** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**), ¿tiene polaridad positiva?

Sí No

¿Confirma esto que el **Motor/generador cc** está operando actualmente como motor? Justifique.

16. Detenga el **Motor/generador cc** ajustando el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).

17. En la **Fuente de alimentación**, invierta las conexiones de la salida de tensión cc variable (fuente de tensión E_S en la figura 1-15) para invertir la polaridad de la tensión aplicada al inducido del **Motor/generador cc**.



*Al invertir la polaridad de la tensión aplicada al inducido del **Motor/generador cc** se invierte la dirección de rotación de la máquina.*

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

18. Ponga en funcionamiento el **Motor/generador cc** ajustando el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **I** (encendido). ¿Es la velocidad n del **Motor/generador cc** negativa, lo que indica que se ha invertido la dirección de rotación del motor y que el motor está rotando en sentido antihorario?

Sí No

19. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, aumente lentamente el valor del parámetro **Par** a 1,0 N·m (8,8 lbf-pulg.). Mientras lo hace, observe el par T producido por el **Motor/generador cc**.

¿Qué sucede con el par T producido por el **Motor/generador cc** a medida que aumenta el par de frenado que aplica al motor el **Freno de par constante de dos cuadrantes**?

20. El par T producido por el **Motor/generador cc**, ¿tiene la misma polaridad que la velocidad n del motor?

Sí No

21. La polaridad de la potencia mecánica P_m del **Motor/generador cc**, ¿es positiva?

Sí No

¿Confirma esto que el **Motor/generador cc** está funcionando actualmente como motor?

Sí No

22. Detenga el **Motor/generador cc** ajustando el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** arranque el **Freno de par constante de dos cuadrantes** ajustando el parámetro **Estado** en la opción **En marcha** o haciendo clic en el botón **Marcha/Parada**.

23. Según sus observaciones, la dirección de rotación del **Motor/generador cc**, ¿determina la polaridad (positiva o negativa) de la velocidad n y el par T del motor? Justifique.

El **Motor/generador cc**, ¿puede funcionar como motor en cualquier dirección de rotación (en sentido horario o en sentido contrario)? Justifique.

Funcionamiento del motor de impulsión de velocidad constante

En esta sección usted armará un circuito que contiene un motor de impulsión (implementado mediante el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes) acoplado mecánicamente al motor/generador cc. Hará rotar el motor de impulsión en sentido horario y confirmará que el motor/generador cc rota a la velocidad especificada determinada por la velocidad del motor de impulsión. También confirmará que el par producido por la máquina es casi cero. Hará rotar el motor de impulsión en sentido antihorario y confirmará que la velocidad del motor/generador cc es negativa cuando rota en sentido antihorario. También confirmará que el par producido por la máquina es casi cero.

24. Ajuste el equipo como se muestra en la figura 1-16. En este circuito no hay carga eléctrica conectada al **Motor/generador cc**. Use la salida de tensión cc fija (terminales **8** y **N**) de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión fija. Ajuste la perilla **Reóstato de campo** del **Motor/generador cc** en la posición media.

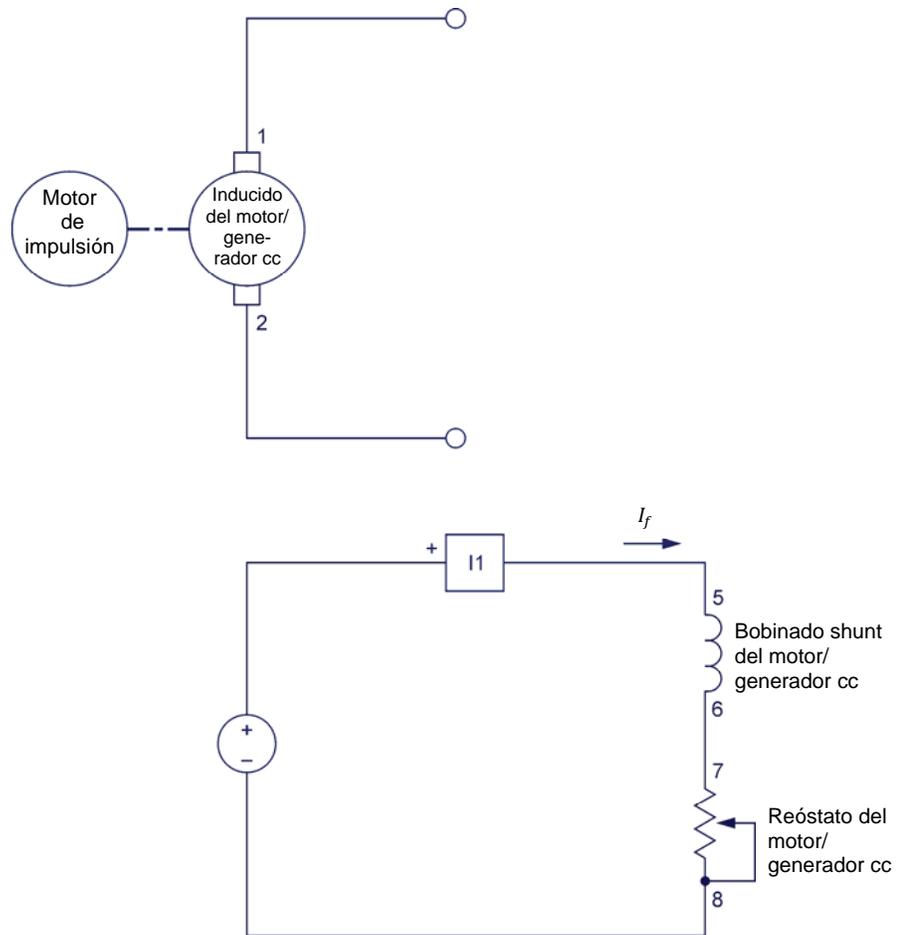


Figura 1-16. Motor de impulsión acoplado al motor/generador cc (sin carga eléctrica).

25. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, realice la siguiente configuración:
- Ajuste el parámetro *Función* en la opción *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*. Esta configuración hace que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como un freno/motor de impulsión en sentido horario con una velocidad que corresponde al parámetro *Velocidad*.
 - Asegúrese de que el parámetro *Relación de la polea* esté en 24:24.
 - Asegúrese de que el parámetro *Control de Velocidad* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente la velocidad del motor de impulsión/freno en sentido horario.

- Ajuste el parámetro *Velocidad* (es decir, el comando de velocidad) en 1000 r/min. Cabe destacar que este comando es la velocidad objetivo en el eje de la máquina acoplada al motor de impulsión, es decir, en este caso, la velocidad del *Motor/generador cc*.



También se puede configurar el comando de velocidad mediante la perilla *Velocidad* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*.

26. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* arranque el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* haciendo clic en el botón *Marcha/Parada* o ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha*.

Observe que el motor de impulsión empieza a rotar, impulsando así el eje del *Motor/generador cc*.

Encienda la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

27. En el *Motor/generador cc*, reajuste levemente la perilla del *Reóstato de campo* de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor *I1* en la ventana *Aparatos de medición*) sea igual al valor indicado en la tabla 1-1 de acuerdo a su red local.

28. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, observe que el parámetro *Relación de la polea* ahora está, agrisado ya que no se lo puede cambiar mientras está rotando el motor de impulsión. El medidor *Velocidad* indica la velocidad n de rotación del *Motor/generador cc*. Escriba esa velocidad a continuación.

Velocidad de rotación del motor/generador cc = _____ r/min

La velocidad de rotación del *Motor/generador cc*, ¿es aproximadamente igual al valor del parámetro *Velocidad*?

Sí No

Esa velocidad de rotación, ¿es positiva? ¿Indicaría esto que el *Motor/generador cc* está rotando en sentido horario?

Sí No

29. Observe la velocidad de rotación indicada en la pantalla del panel frontal del módulo *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*. Ésta corresponde a la velocidad de rotación del motor de impulsión. Cabe notar que esa velocidad es la misma que la del *Motor/generador cc*. Esto se debe a que la relación de la polea es 24:24.

30. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, observe el par T del *Motor/generador cc*.

¿Tiene el par un valor de casi cero, lo que indica que el *Motor/generador cc* no produce par?

Sí No

31. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, aumente el parámetro *Velocidad* a 1500 r/min.

La velocidad n del *Motor/generador cc*, ¿aumenta con el valor del parámetro *Velocidad* del *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*?

Sí No

A medida que aumenta la velocidad, el par T del motor, ¿se mantiene en un valor cercano a cero?

Sí No

32. En la *Fuente de alimentación*, Ajuste el interruptor principal en la posición *O* (apagado).

En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* detenga el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* haciendo clic en el botón *Marcha/Parada* o ajustando el parámetro *Estado* en la opción *Parado* y luego haga los siguientes ajustes:

- Ajuste el parámetro *Función* en *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH*. Esta configuración hace que el *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* funcione como un motor de impulsión/freno en sentido antihorario a una velocidad que corresponde al parámetro *Velocidad*.
- Asegúrese de que el parámetro *Control* de *Velocidad* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente la velocidad del motor de impulsión/freno en sentido antihorario.
- Ajuste el parámetro *Velocidad* en -1000 r/min.

33. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* arranque el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH* haciendo clic en el botón *Marcha/Parada* o ajustando el parámetro *Estado* en *En marcha*.

En la *Fuente de alimentación*, Ajuste el interruptor principal en la posición *I* (encendido).

- 34.** Espere unos segundos y luego observe la velocidad y el par del **Motor/generador cc**.

La velocidad de rotación del **Motor/generador cc**, ¿es aproximadamente igual al valor del parámetro *Velocidad*?

Sí No

¿Es la velocidad n del motor negativa, lo que indica que el **Motor/generador cc** está rotando en sentido antihorario?

Sí No

¿Tiene el par T del motor un valor de casi cero, lo que indica que el **Motor/generador cc** no produce par?

Sí No

- 35.** En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, aumente el parámetro *Velocidad* a -1500 r/min.

Con el aumento del valor del parámetro *Velocidad* del **Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH**, ¿aumenta la velocidad n del **Motor/generador cc** (de polaridad negativa)?

Sí No

A medida que aumenta la velocidad, el par T del motor, ¿se mantiene en un valor cercano a cero?

Sí No

- 36.** En la **Fuente de alimentación**, ajuste el interruptor principal en la posición **O** (apagado).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** detenga el **Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH** haciendo clic en el botón *Marcha/Parada* o ajustando el parámetro *Estado* en *Parado*.

Motor de impulsión de velocidad constante impulsando un generador con carga

En esta sección usted armará un circuito que contiene un motor de impulsión (implementado mediante el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes) acoplado mecánicamente al motor/generador cc que funciona como generador. La salida de este último estará conectada a una carga resistiva. Hará rotar el generador en sentido horario y confirmará que la velocidad y el par de éste tienen polaridad opuesta y que la potencia mecánica del mismo es negativa, lo que indica que la máquina está funcionando como generador. A continuación, hará rotar el generador en sentido antihorario y verificará que la velocidad y el par de éste tienen polaridad opuesta y que la potencia mecánica del mismo es negativa. Por último, confirmará que la máquina puede funcionar como generador independientemente de la dirección de rotación.

- 37.** Conecte un resistor de carga (R_1) al **Motor/generador cc** como se muestra en la figura 1-17. Utilice el módulo **Carga resistiva** para implementar el resistor R_1 . El valor de la resistencia que debe utilizarse para ese resistor depende de la tensión y frecuencia de su red eléctrica ca local (véase la tabla en el diagrama). No cambie las demás conexiones.



*En el Apéndice C del presente manual figura una lista de las configuraciones y conexiones de interruptores que se deben aplicar en el módulo **Carga resistiva** para obtener diferentes valores de resistencia.*

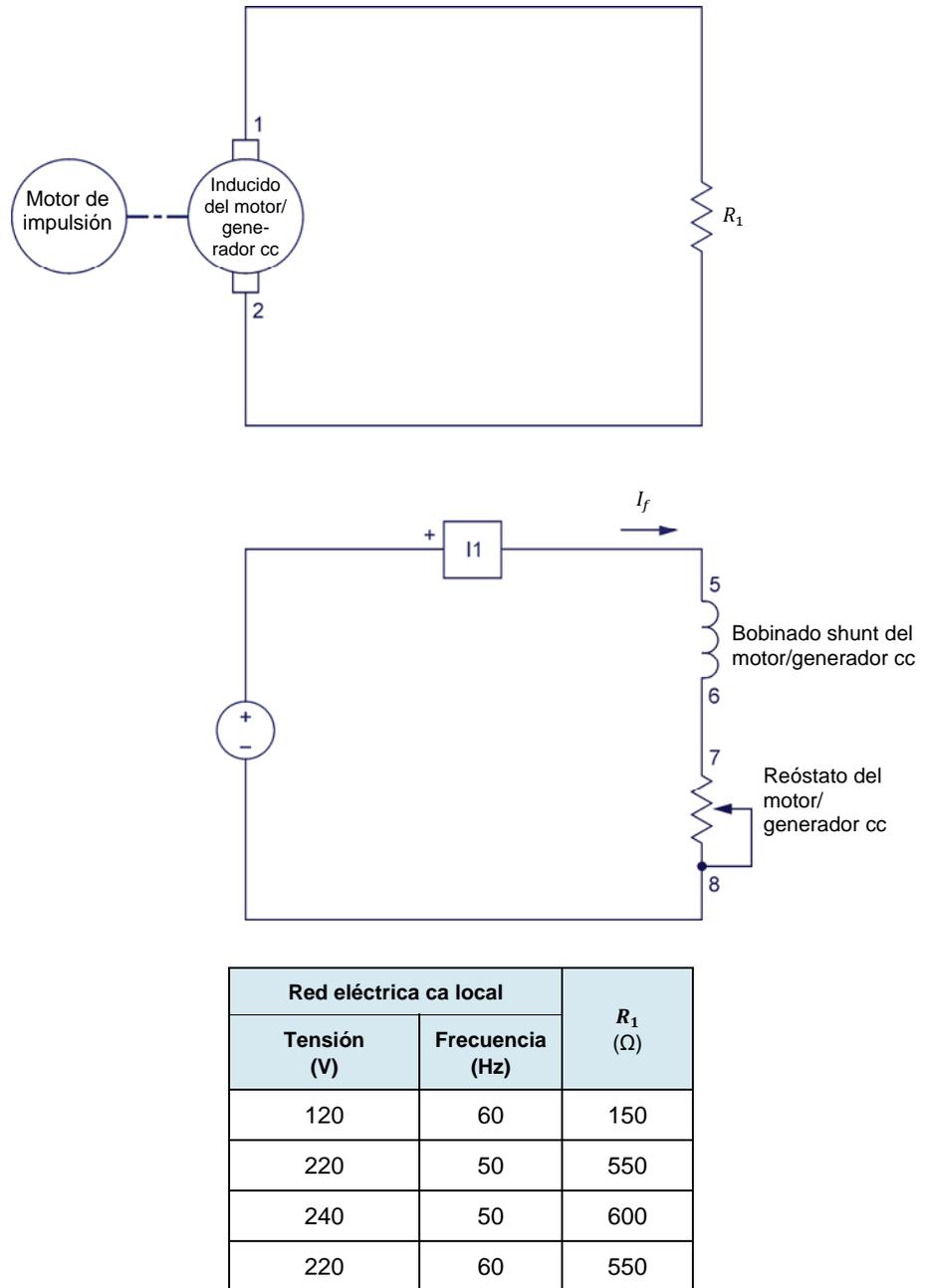


Figura 1-17. Motor de impulsión acoplado al motor/generador cc (con carga eléctrica).

- 38.** En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, realice la siguiente configuración:
- Ajuste el parámetro *Función* en *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*.
 - Asegúrese de que el parámetro *Control* de *Velocidad* esté ajustado en *Perilla*.

- Ajuste el parámetro *Velocidad* en 1500 r/min.

39. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* arranque el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* para hacer rotar el *Motor/generador cc*.

Encienda la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

40. En el *Motor/generador cc*, reajuste levemente la perilla del *Reóstato de campo*, si es necesario, de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor *I1* en la ventana *Aparatos de medición*) sea igual al valor indicado en la tabla 1-1 para su red eléctrica ca local.

41. ¿Cuál es la polaridad del par T producido por el *Motor/generador cc*?

¿Cuál es la polaridad de la velocidad n del *Motor/generador cc*?

La velocidad y el par, ¿tienen polaridades opuestas?

- Sí No

42. La polaridad de la potencia mecánica del motor, ¿es negativa?

- Sí No

¿Confirma esto que el *Motor/generador cc* está funcionando actualmente como generador? Justifique.

43. En la *Fuente de alimentación*, ajuste el interruptor principal en la posición O (apagado). En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* detenga el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* y luego haga el siguiente ajuste:

- Ajuste el parámetro *Función* en la opción *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH*.
- Asegúrese de que el parámetro *Control* de *Velocidad* esté ajustado en *Perilla*.
- Ajuste el parámetro *Velocidad* en -1500 r/min.

- Arranque el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH* para hacer rotar el *Motor/generador cc*.

44. En la *Fuente de alimentación*, ajuste el interruptor principal en la posición I (encendido). ¿Cuál es la polaridad del par T producido por el *Motor/generador cc*?

¿Cuál es la polaridad de la velocidad n del *Motor/generador cc*?

La velocidad y el par, ¿tienen polaridad opuesta?

- Sí No

45. La polaridad de la potencia mecánica P_m del motor, ¿es negativa?

- Sí No

¿Confirma esto que el *Motor/generador cc* está funcionando actualmente como generador?

- Sí No

46. En la *Fuente de alimentación*, ajuste el interruptor principal en la posición O (apagado). En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* detenga el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH* ajustando el parámetro *Estado* en la opción *Parado* o haciendo clic en el botón *Marcha/Parada*.

47. Según sus observaciones, la polaridad de la velocidad n y el par T del generador, ¿determina la dirección de rotación? Justifique.

¿Puede el *Motor/generador cc* funcionar como generador en cualquier dirección de rotación (en sentido horario o en sentido contrario)?

- Sí No

48. En la **Fuente de alimentación**, ajuste la perilla de control de tensión en 0%. Apague la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Desconecte todos los cables y guárdelos.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, se familiarizó con las funciones básicas del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes empleado en este manual. Observó la polaridad de la velocidad, el par y la potencia mecánica de una máquina rotatoria que funciona como motor o como generador.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la potencia P de un motor que rota a una velocidad n de 2000 r/min y produce un par T de 1,2 N·m (10,6 lbf·pulg.)?

2. Describa brevemente un freno y un motor de impulsión.

3. Describa brevemente la conversión de energía que tiene lugar en un motor y la que tiene lugar en un generador.

4. Imagine un motor que rota en sentido horario y está acoplado a un freno que aplica un par de carga al motor. Determine la polaridad de la velocidad y el par del motor, así como la polaridad del par de frenado. Determine también la polaridad de la potencia mecánica del motor.

5. Imagine un motor de impulsión que hace rotar un motor en sentido horario. Determine la polaridad del par del motor de impulsión, así como la polaridad de la velocidad y el par del generador. Determine también la polaridad de la potencia mecánica del generador.

Examen de la unidad

1. Se aplica una fuerza F de 12,0 N (2,70 lbf·pulg.) a una polea de 5 cm (1,97 pulg.) de diámetro. Determine el trabajo W que se realiza cuando la polea completa diez vueltas.
 - a. 1,88 J (16,6 lbf·pulg.)
 - b. 3,77 J (33,4 lbf·pulg.)
 - c. 18,8 J (167 lbf·pulg.)
 - d. 37,7 J (334 lbf·pulg.)
2. Un bucle de alambre en movimiento atraviesa un campo magnético. Dado que el flujo magnético Φ vinculado al bucle se incrementa de 0 mWb a 280 mWb en 0,05 s cuando el bucle atraviesa el campo magnético, determine la tensión E inducida a través del bucle.
 - a. $E = 14,0$ V
 - b. $E = 5,60$ V
 - c. $E = 28,0$ V
 - d. $E = 11,2$ V
3. El motor de una bomba de agua produce un par T de 10 N·m (88,5 lbf·pulg.). ¿Cuánto trabajo hace el motor de la bomba si rota a una velocidad de 3000 r/min durante 10 minutos?
 - a. 188 kJ (1,67·10⁶ lbf·pulg.)
 - b. 1,88 MJ (16,7·10⁶ lbf·pulg.)
 - c. 314 kJ (3,34·10⁶ lbf·pulg.)
 - d. 3,14 kJ (33,4·10⁶ lbf·pulg.)
4. Sabiendo que un motor tiene una potencia P de 300 W, calcule el par T que debe producir el motor para rotar a una velocidad n de 1600 r/min.
 - a. $T = 1,79$ N·m (15,8 lbf·pulg.)
 - b. $T = 2,50$ N·m (22,1 lbf·pulg.)
 - c. $T = 5,33$ N·m (47,2 lbf·pulg.)
 - d. $T = 4,14$ N·m (36,6 lbf·pulg.)
5. El freno de par constante de dos cuadrantes se usa fundamentalmente para
 - a. estudiar el funcionamiento de un generador.
 - b. suministrar energía eléctrica a una máquina rotatoria.
 - c. impulsar una máquina rotatoria a una velocidad especificada.
 - d. aplicar par de carga a una máquina rotatoria.
6. El motor de impulsión de velocidad constante se usa fundamentalmente para
 - a. estudiar el funcionamiento de un motor.
 - b. suministrar energía eléctrica a una máquina rotatoria.
 - c. impulsar una máquina rotatoria a una velocidad especificada.
 - d. aplicar par de carga a una máquina rotatoria.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

7. La potencia mecánica producida por un motor es
 - a. siempre positiva.
 - b. positiva sólo cuando el motor rota en sentido horario.
 - c. siempre negativa.
 - d. positiva sólo cuando el motor rota en sentido antihorario.

8. La potencia mecánica producida por un generador es
 - a. siempre positiva.
 - b. positiva sólo cuando el generador rota en sentido horario.
 - c. siempre negativa.
 - d. positiva sólo cuando el generador rota en sentido antihorario.

9. Cuando un motor rota en sentido antihorario
 - a. la velocidad del motor tiene polaridad negativa, mientras que el par del motor tiene polaridad positiva.
 - b. la velocidad y el par del motor tienen polaridad negativa.
 - c. la velocidad del motor tiene polaridad positiva, mientras que el par del motor tiene polaridad negativa.
 - d. la velocidad y el par del motor tienen polaridad positiva.

10. Cuando un motor rota en sentido horario
 - a. la velocidad del generador tiene polaridad negativa, mientras que el par del generador tiene polaridad positiva.
 - b. la velocidad y el par del generador tienen polaridad negativa.
 - c. la velocidad del generador tiene polaridad positiva, mientras que el par del generador tiene polaridad negativa.
 - d. la velocidad y el par del generador tienen polaridad positiva.

Motores y generadores cc

OBJETIVO DE LA UNIDAD Al completar esta unidad, usted podrá usar el motor/generador cc para demostrar y explicar el funcionamiento de los motores y generadores cc.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios fundamentales cubren los siguientes puntos:

- Principio de funcionamiento de los motores cc
- Principio de funcionamiento de los generadores cc

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Principio de funcionamiento de los motores cc

Como se señaló en la Unidad 1, los motores giran por la interacción entre dos campos magnéticos. En esta unidad se analizará la manera en que se producen estos campos magnéticos en los motores cc y en que los campos magnéticos inducen tensión en los generadores cc.

El principio básico del motor cc es la creación de un imán rotatorio dentro de la parte móvil del motor (rotor), esto lo logra un dispositivo llamado **colector** que tienen todas las máquinas cc. Este dispositivo produce las corrientes alternas necesarias para la creación del imán rotatorio a partir de la corriente cc procedente de una fuente externa. En la figura 2-1 se muestra el clásico rotor del motor cc con sus principales componentes. En la figura 2-1 se muestra que el contacto eléctrico entre los segmentos del colector y la fuente de energía cc externa E_s se efectúa a través de **escobillas**. Nótese que el rotor del motor cc también se conoce como **inducido**.

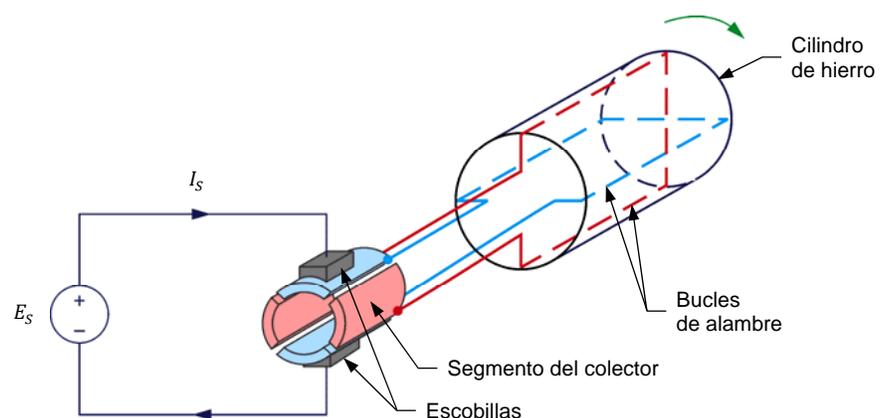


Figura 2-1. Principales componentes del rotor del motor cc (inducido).

En la figura 2-2 y en la figura 2-3 se muestra lo que ocurre con el campo magnético en los bucles de alambre del inducido cuando gira el rotor del motor cc en la figura 2-1. En la figura 2-2(a), las escobillas hacen contacto con los segmentos A y B del colector. Por lo tanto, la corriente circula desde la fuente de energía cc hasta el bucle de alambre A-B a través de las escobillas. En el bucle de alambre C-D no circula corriente, lo que genera un electroimán A-B con un polo norte y un polo sur, como se muestra en la figura 2-2(a). Cuando gira el rotor ligeramente hacia la derecha como se muestra en la figura 2-2(b), la corriente aún circula en el bucle de alambre A-B y los polos norte y sur del electroimán rotan en sentido horario.

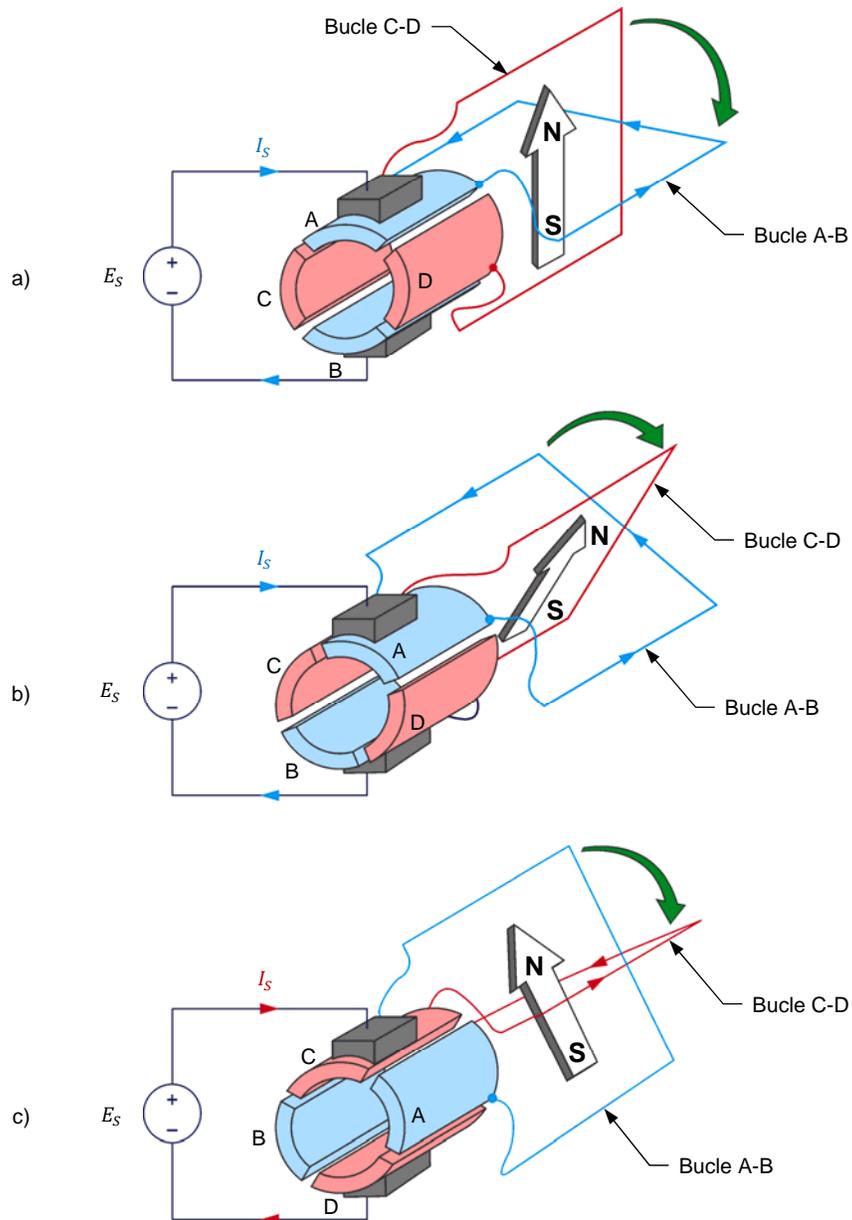


Figura 2-2. Campo magnético que se produce en el inducido cuando el rotor gira en sentido horario (parte I).

Mientras el rotor sigue girando en sentido horario, las ranuras del colector pasan por las escobillas y se produce una conmutación: las escobillas dejan de hacer contacto con los segmentos A y B del conmutador y empiezan a hacer contacto con los segmentos C y D, como se muestra en la figura 2-2(c). En consecuencia, la corriente deja de circular en el bucle de alambre A-B y empieza a circular en el bucle C-D. Esto genera un electroimán C-D con polos norte y sur, como se muestra en la figura 2-2(c).

Al comparar la figura 2-2(b) y la figura 2-2(c) se observa que en la conmutación los polos norte y sur del electroimán están rotados 90° en sentido antihorario. Mientras el rotor sigue girando en sentido horario, se repite el mismo fenómeno en cada rotación de 90° (es decir, en cada conmutación), como se muestra en la figura 2-3.

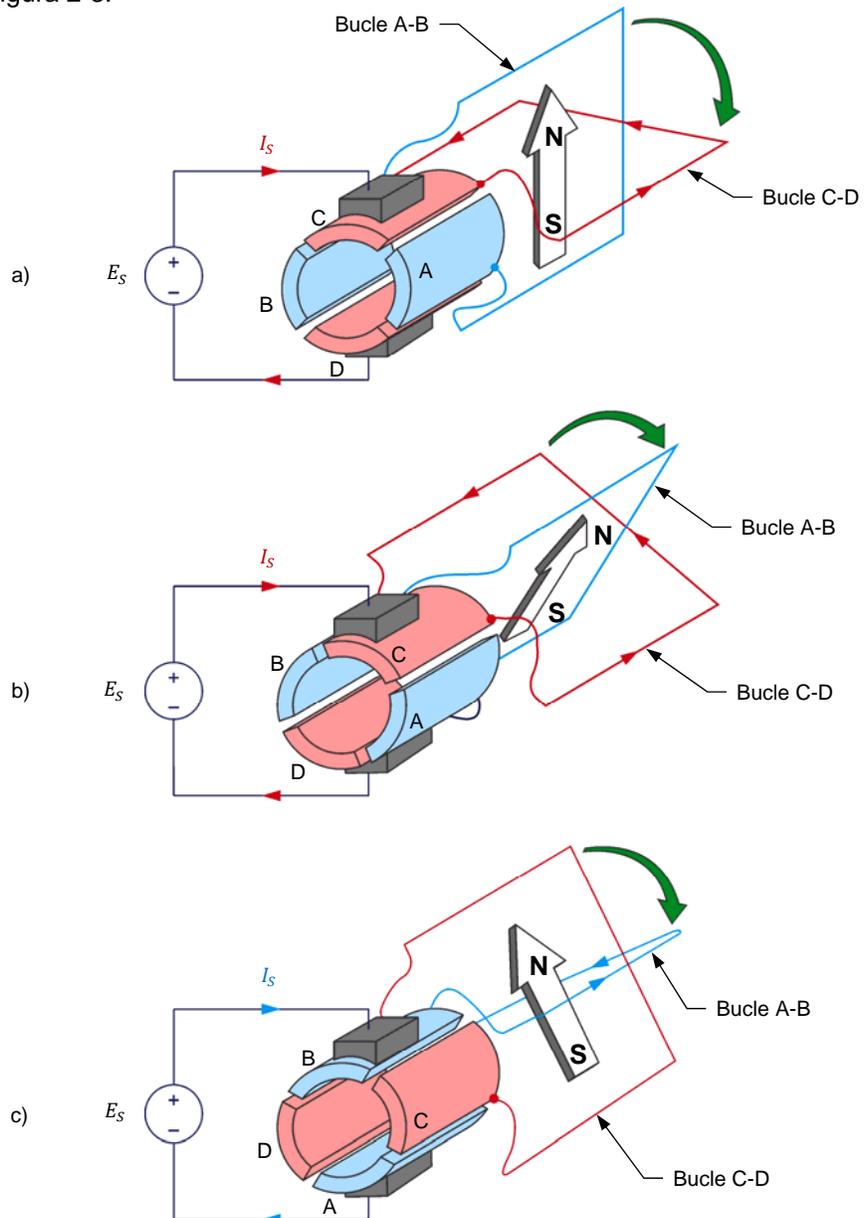


Figura 2-3. Campo magnético que se produce en el inducido cuando el rotor gira en sentido horario (parte II).

En resumen, cuando el rotor gira, los polos norte y sur del electroimán se mueven de un lado a otro (oscilan) sobre un ángulo de 90° , como se muestra en la figura 2-4. También es posible considerar a los polos norte y sur como elementos estáticos, es decir, que no rotan cuando el rotor gira. Esto equivale a tener un electroimán en el rotor que gira a la misma velocidad que el rotor, pero en la dirección contraria.

Cuanto mayor es número de segmentos en el colector, menor es el ángulo de rotación entre cada conmutación, y por ende, menor el ángulo sobre el cual oscilan los polos norte y sur del electroimán. Por ejemplo, si el colector que se muestra en la figura 2-1, figura 2-2 y la figura 2-3 tuviera 32 segmentos en vez de 4, los polos norte y sur oscilarían sobre un ángulo de $11,25^\circ$, en vez de uno de 90° .

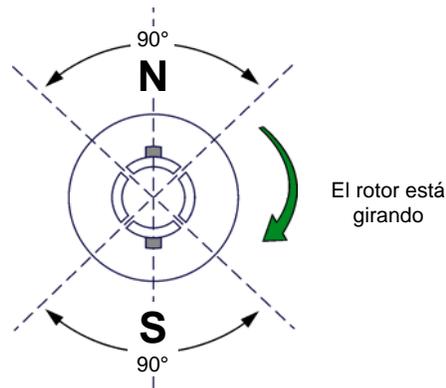


Figura 2-4. Los polos norte y sur del electroimán en el inducido oscilan alrededor de una posición fija.

Cuando se coloca el rotor junto al **estátor** de un imán permanente fijo como se muestra en la figura 2-5, los polos magnéticos de polaridad opuesta se atraen (para alinearse), mientras que los polos magnéticos con la misma polaridad se repelen y el rotor comienza a girar. Después de que el rotor haya girado hasta cierto ángulo, se produce una conmutación y los polos norte y sur del electroimán vuelven a su ubicación inicial. Una vez más, los polos magnéticos de polaridad opuesta se atraen (para alinearse) y los polos magnéticos con la misma polaridad se repelen, y el rotor comienza a girar y sigue girando en la misma dirección. Sin embargo, se produce otra conmutación poco después y los polos norte y sur del electroimán vuelven a su ubicación inicial una vez más. Este ciclo se repite una y otra vez. La fuerza que resulta de la interacción entre los dos campos magnéticos se ejerce siempre en la misma dirección y el rotor gira continuamente. Por lo tanto, se obtiene una máquina rotatoria que convierte energía eléctrica en energía mecánica, es decir, un motor eléctrico. La dirección de rotación depende de la polaridad de la tensión aplicada a las escobillas del rotor.

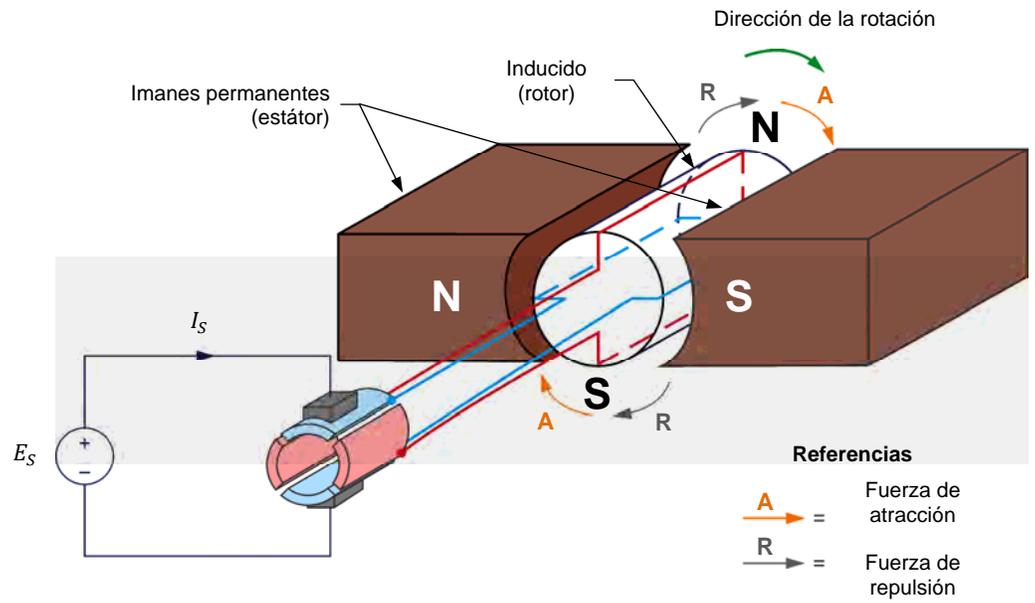


Figura 2-5. Rotación generada por la interacción de los campos magnéticos del estator y del rotor.

Principio de funcionamiento de los generadores cc

Anteriormente se mencionó que la variación del flujo magnético en el bucle de alambre hace que se induzca tensión de un extremo al otro del bucle. Cuando se coloca un bucle de alambre entre dos imanes y se lo rota como se muestra en la figura 2-6, varía el flujo magnético ϕ que atraviesa el bucle y se induce tensión E_1 entre los terminales del bucle. Los dos segmentos del E_1 colector captan la tensión, que se envía a las escobillas estáticas ($B+$ y $B-$) conectadas a los terminales del generador.

- A medida que el bucle pasa de la posición 0 a la posición 4, el flujo magnético ϕ del bucle pasa de un máximo negativo (flujo máximo que atraviesa el bucle del lado A al lado B) a un máximo positivo (flujo máximo que atraviesa el bucle del lado B al lado A). En este intervalo de rotación de 180° , la tensión E_1 inducida a través del bucle tiene polaridad positiva porque la variación $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ del flujo magnético tiene valor positivo.
- Cuando el bucle alcanza la posición 4, se invierten las conexiones de los dos segmentos del colector con las escobillas $B-$ y $B+$. Por lo tanto, esto invierte las conexiones entre los terminales del bucle de alambre y los del generador.
- A medida que el bucle pasa de la posición 4 a la posición 0, el flujo magnético ϕ del bucle pasa de un máximo positivo (flujo máximo que atraviesa el bucle del lado B al lado A) a un máximo negativo (flujo máximo que atraviesa el bucle del lado A al lado B). En este intervalo de rotación de 180° , la tensión E_1 inducida a través del bucle tiene polaridad negativa porque la variación $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ del flujo magnético tiene valor negativo.

- Cuando el bucle alcanza la posición 0, se vuelven a invertir las conexiones de los dos segmentos del colector con las escobillas B^- y B^+ , lo que hace que se inviertan las conexiones entre los terminales del bucle de alambre y los del generador.

Este ciclo se repite mientras siga girando el rotor, de modo que la polaridad de la tensión E_1 generada a través del bucle de alambre del rotor se alterna continuamente: es positiva por media vuelta, negativa la media vuelta siguiente, luego vuelve a ser positiva por media vuelta y así sucesivamente. Por ese motivo, la tensión E_1 generada a través del bucle de alambre del rotor se denomina tensión de corriente alterna (ca). Dado que el colector invierte las conexiones entre los terminales del bucle de alambre y los del generador en las posiciones 0 y 4 del bucle, la tensión E_2 de los terminales del generador siempre tiene la misma polaridad (positiva), como se muestra en la figura 2-6. La tensión E_2 de los terminales del generador es, por lo tanto, una tensión positiva de corriente continua (cc) pulsante (dos pulsos por rotación).

A mayor velocidad de rotación del rotor, mayor variación del flujo magnético ϕ que atraviesa el bucle de alambre y, por ende, mayor tensión E_2 en los terminales del generador. Además, mientras más intenso sea el campo magnético del imán permanente, mayor será la intensidad del flujo magnético y, por consiguiente, mayor la tensión E_2 en los terminales del generador.

En la figura 2-6, el lado A del bucle de alambre indica el plano del bucle visto desde el polo norte (N), mientras que el lado B de dicho bucle indica el visto desde el polo sur (S).

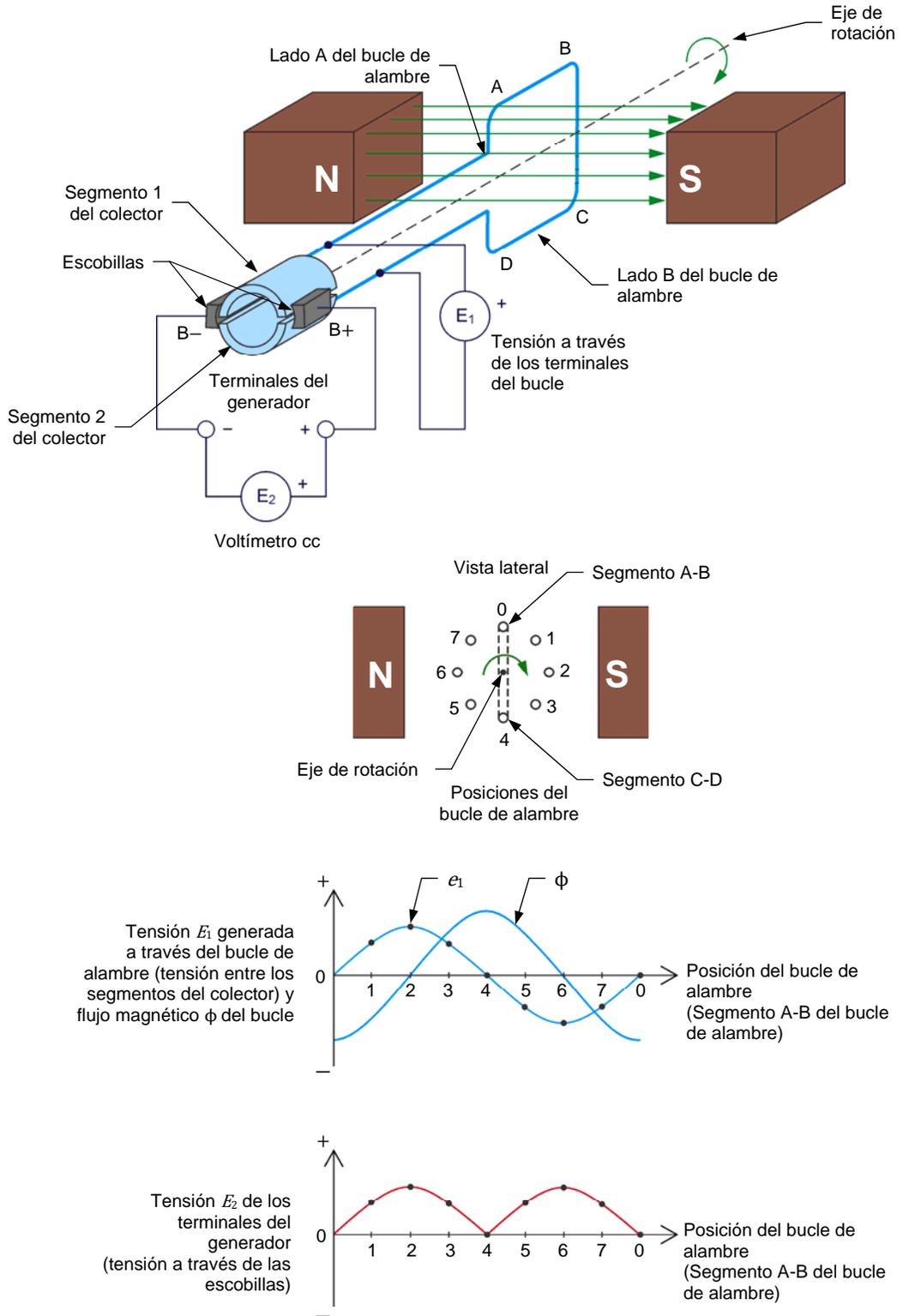


Figura 2-6. La rotación de un bucle de alambre en un campo magnético produce tensión inducida (rotación horaria).

Cuando se invierte la dirección en la que rota el bucle de alambre, también lo hace la polaridad de la tensión cc E_2 en los terminales del generador, como se muestra en la figura 2-7. La tensión E_2 de los terminales del generador es, por lo tanto, una tensión negativa cc pulsante (dos pulsos por rotación).

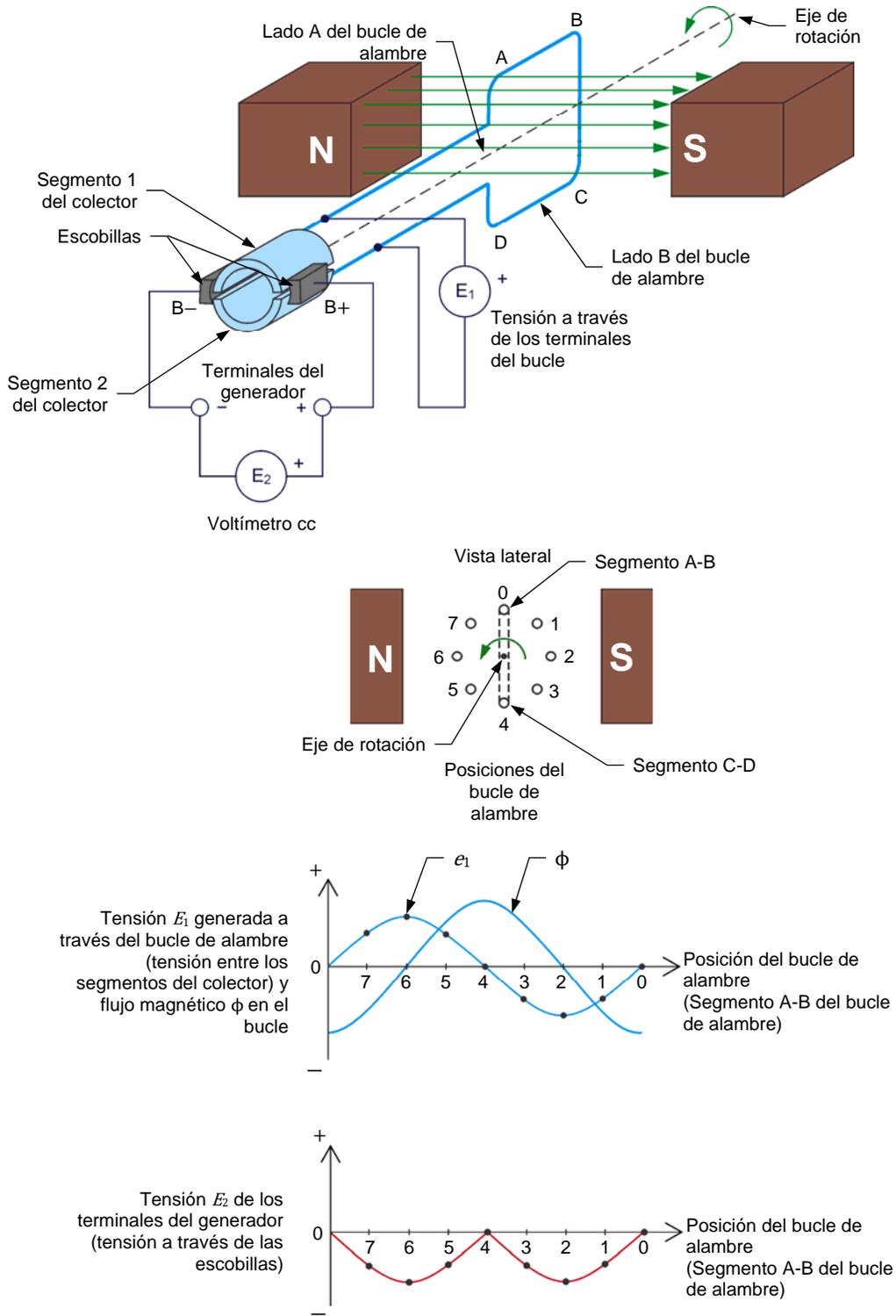


Figura 2-7. Cuando se invierte la dirección de rotación del bucle de alambre, también se invierte la polaridad de la tensión cc en los terminales del generador.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Motor cc con excitación independiente

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al completar este ejercicio, usted podrá demostrar las principales características de funcionamiento de un motor cc con excitación independiente usando el motor/generador cc.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio abarcan los siguientes puntos:

- Circuito equivalente simplificado de un motor cc
- Relación entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido cuando la corriente del inducido es constante
- Relación entre el par motor y la corriente del inducido
- Relación entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido cuando varía la corriente del inducido

PRINCIPIOS

Circuito equivalente simplificado de un motor cc

Anteriormente, se mencionó que el motor cc está compuesto por un imán fijo (estátor) y un imán rotatorio (rotor). Muchos motores cc usan un electroimán en el estátor como se muestra en la figura 2-8.

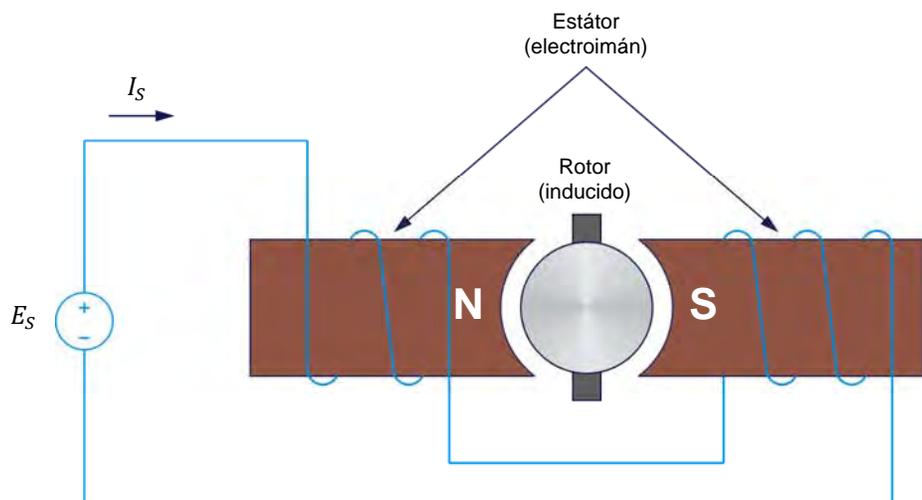


Figura 2-8. Motor cc simplificado con electroimán como estátor.

Cuando una fuente cc independiente, ya sea de tensión fija o variable, suministra la energía para el electroimán estátor se denomina al motor **motor cc con excitación independiente**. A menudo también se usa el término motor cc de campo independiente. La corriente que circula en el electroimán del estátor muchas veces se denomina **corriente de campo** porque se usa para crear un campo magnético fijo.

Para entender el funcionamiento eléctrico y mecánico del motor cc, es preciso examinar el circuito eléctrico equivalente simplificado que se muestra en la figura 2-9.

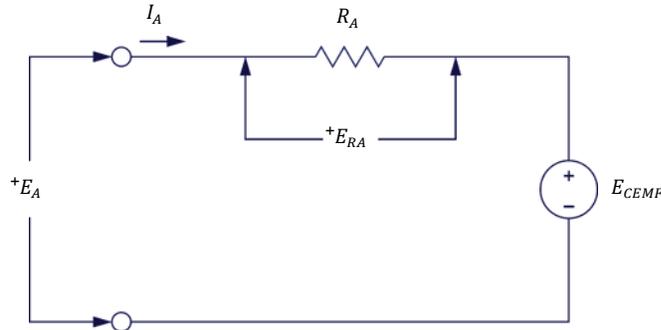


Figura 2-9. Circuito equivalente simplificado de un motor cc.

En el circuito, E_A es la tensión aplicada a las escobillas del motor, I_A es la corriente que circula en el inducido a través de las escobillas y R_A es la resistencia entre las escobillas. Nótese que con frecuencia a E_A , I_A y R_A se los llama tensión, corriente y resistencia del inducido, respectivamente. E_{RA} es la caída de tensión a través del resistor del inducido. Cuando el motor gira, se produce una tensión inducida E_{CEMF} proporcional a la velocidad del motor. Esta tensión inducida está representada por una fuente cc en el circuito equivalente simplificado de la figura 2-9. El motor también produce un par T proporcional a la corriente I_A del inducido que circula en el motor. El funcionamiento del motor se basa en las dos ecuaciones que siguen. La ecuación (2-1) relaciona la velocidad n del motor con la tensión inducida E_{CEMF} . La ecuación (2-2) vincula al par motor T y la corriente del inducido I_A .

$$n = K_1 \cdot E_{CEMF} \quad (2-1)$$

donde n es la velocidad de rotación del motor, expresada en revoluciones por minuto (r/min).

K_1 es una constante expresada en $\frac{r/min}{V}$.

E_{CEMF} es la tensión inducida a través del inducido, expresada en voltios (V).

$$T = K_2 \cdot I_A \quad (2-2)$$

donde T es el par motor, expresado en newton-metros (N·m) o en libras-fuerza por pulgada (lbf·pulg.).

K_2 es una constante expresada en $\frac{N \cdot m}{A}$ o $\frac{lbf \cdot pulg.}{A}$.

I_A es la corriente del inducido, expresada en amperes (A).

Relación entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido cuando la corriente del inducido es constante

Cuando se aplica tensión E_A al inducido de un motor cc sin carga mecánica, la corriente del inducido I_A que circula en el circuito equivalente de la figura 2-9 es constante y tiene un valor muy bajo. De ese modo, la caída de tensión E_{RA} producida a través del resistor del inducido es tan leve que puede ignorarse y E_{CEMF} puede considerarse equivalente a la tensión del inducido E_A . Por lo tanto, la relación entre la velocidad de rotación del motor n y la tensión del inducido E_A es una línea recta porque E_{CEMF} es proporcional a la velocidad de rotación del motor n . Esta relación lineal se observa en la figura 2-10. La pendiente de la línea recta es igual a la constante K_1 .

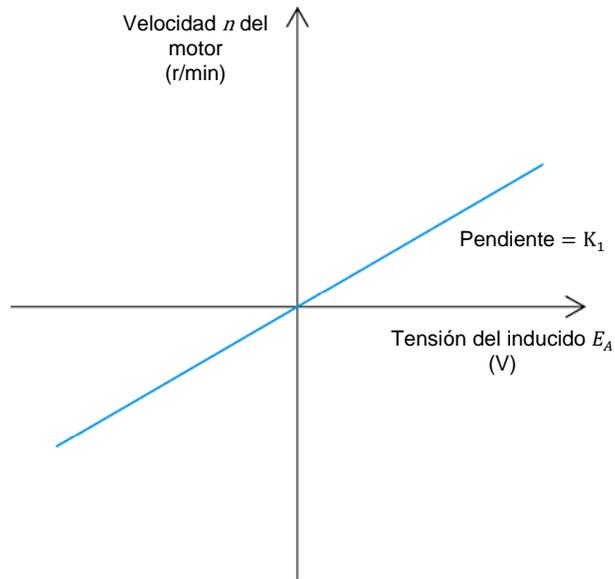


Figura 2-10. Relación lineal entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido.

Dado que la relación entre la tensión E_A y la velocidad de rotación n es lineal, puede considerarse al motor cc como un convertidor lineal de tensión a velocidad, como se muestra en la figura 2-11.



Figura 2-11. Motor cc como convertidor de tensión a velocidad.

Relación entre el par motor y la corriente del inducido

Existe el mismo tipo de relación entre el par motor T y la corriente del inducido I_A , de modo que también se puede considerar a un motor cc como un convertidor lineal de corriente a par. En la figura 2-12 se representa la relación lineal entre el par motor T y la corriente del inducido I_A . La constante K_2 es la pendiente de la línea en la que se relacionan. El convertidor lineal de corriente a par se observa en la figura 2-13.

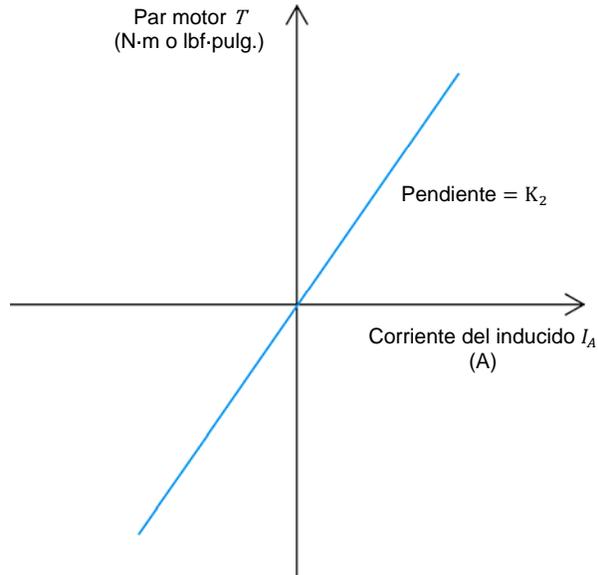


Figura 2-12. Relación lineal entre el par motor y la corriente del inducido.

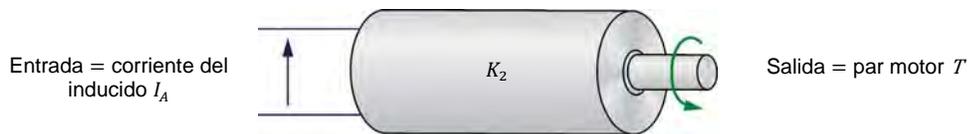


Figura 2-13. Motor cc como convertidor de corriente a par.

Relación entre la velocidad de rotación del motor y la tensión del inducido cuando varía la corriente del inducido

Cuando aumenta la corriente del inducido I_A , la caída de tensión E_{RA} ($R_A \cdot I_A$) a través del resistor del inducido también es mayor y ya no puede pasarse por alto. Por lo tanto, la tensión del inducido E_A ya no puede considerarse igual a E_{CEMF} , sino la suma de E_{CEMF} y E_{RA} , como se muestra en la ecuación (2-3):

$$E_A = E_{CEMF} + E_{RA} \quad (2-3)$$

De ese modo, cuando se aplica una tensión del inducido fija E_A a un motor cc, la caída de tensión E_{RA} producida a través del resistor del inducido aumenta cuando lo hace la corriente del inducido I_A , lo que hace a su vez que disminuya E_{CEMF} . Además, este fenómeno hace que disminuya la velocidad de rotación n del motor porque es proporcional a E_{CEMF} , como se muestra en la figura 2-14, donde se representa la relación entre la velocidad de rotación n del motor contra la corriente del inducido I_A para una tensión del inducido fija E_A .

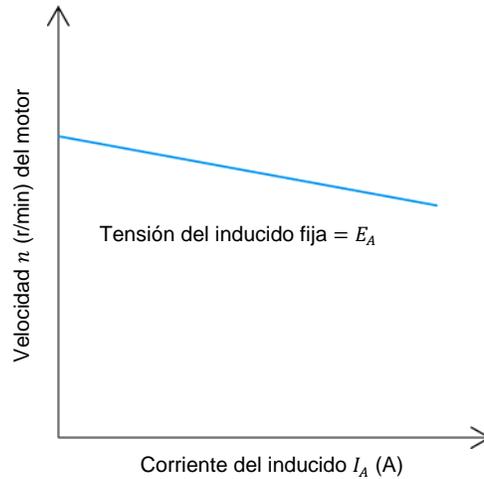


Figura 2-14. La velocidad de rotación del motor disminuye cuando aumenta la corriente del inducido (tensión del inducido fija E_A).



Figura 2-15. Ejemplo de un motor cc con excitación independiente usado en un kart de carrera.

Property of Festo Didactic
 Sale and/or reproduction forbidden

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento se divide en las siguientes secciones:

- Instalación y conexiones
- Determinar la resistencia del inducido
- Relación entre la velocidad del motor y la tensión del inducido
- Relación entre el par motor y la corriente del inducido
- Relación entre la disminución de la velocidad y la corriente del inducido
- Experimentos adicionales (optativo)
Características de la relación entre la velocidad del motor y la tensión del inducido y de la relación entre el par motor y la corriente del inducido en conexiones invertidas del inducido.

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones elevadas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana sin apagar la fuente de alimentación, a menos que se especifique lo contrario.

Instalación y conexiones

En esta sección usted acoplará mecánicamente el motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes e instalará el equipo.

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo del Apéndice A para conocer la lista de equipos necesarios para este ejercicio. Instale el equipo en el **Puesto de trabajo**.



Antes de empezar el ejercicio, verifique que las escobillas del Motor/generador cc estén en el punto neutro. Conecte una fuente de energía ca de tensión variable (terminales 4 y N de la Fuente de alimentación) al inducido del Motor/generador cc (terminales 1 y 2) a través de la entrada de corriente I1 de la Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI). Conecte el bobinado shunt del Motor/generador cc (terminales 5 y 6) a la entrada de tensión E1 de la DACI. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Aparatos de medición. Configure dos medidores para calcular el valor eficaz (ca) de la tensión del inducido E_A y de la corriente del inducido I_A en las entradas E1 y I1 de la DACI, respectivamente. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión de modo que la corriente ca (indicada por el medidor I1 en la ventana Aparatos de medición) sea igual a la mitad de la corriente nominal del inducido que circula en el inducido del Motor/generador cc. Ajuste la palanca de control de la escobilla del Motor/generador cc de modo que sea mínima la tensión que circula a través del bobinado shunt (indicada por el medidor E1 en la ventana Aparatos de medición). Apague la Fuente de alimentación, cierre el software LVDAC-EMS y desconecte todos los cables.

Acople mecánicamente el Motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes mediante una correa de distribución.



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

2. Asegúrese de que el interruptor principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** se encuentre en la posición **O** (apagado), luego conecte la **Entrada de potencia** a una salida de energía ca de la pared.
3. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal y el de energía ca de 24 V se encuentren en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión indique 0% (girada por completo en sentido antihorario). Conecte la **Fuente de alimentación** a una salida de energía ca trifásica.
4. Conecte la **Entrada de potencia** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)** a la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

Encienda la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

5. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** a un puerto USB de la computadora.

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 2-16. Use la salida de tensión cc variable de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_S . Use la salida de tensión cc fija de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión fija. E_1 , I_1 e I_2 son entradas de tensión y corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**. Deje el circuito abierto en los puntos A y B que se muestran en la figura.
7. En el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el interruptor **Modo de operación** en posición **Dinamómetro**. Esta configuración permite que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como motor de impulsión, freno o ambos, según la función seleccionada.

Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido).

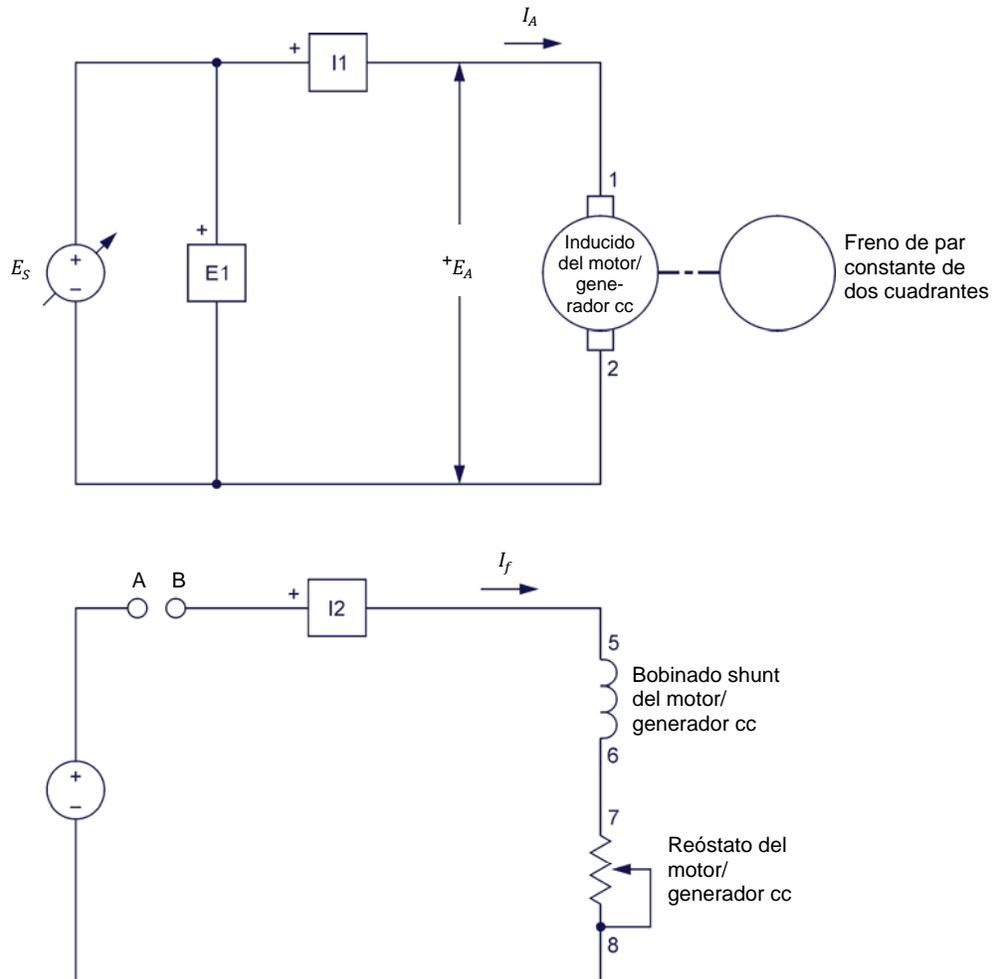


Figura 2-16. Motor cc con excitación independiente acoplado a un freno.

8. Encienda la computadora y ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**, asegúrese de que se hayan detectado la **Interfaz de adquisición de datos y de control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Asegúrese de que la función **Instrumentación informatizada** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** esté disponible. Seleccione la tensión y frecuencia correspondientes a la tensión y frecuencia de la red eléctrica ca local, luego haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.

9. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** luego realice las siguientes configuraciones:

- Ajuste el parámetro **Función** la opción **Freno de par constante de dos cuadrantes**. Esta configuración hace que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como freno de dos cuadrantes con valor de par correspondiente al parámetro **Par**.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

- Ajuste el parámetro *Relación de la polea* la opción 24:24. Las cifras primera y segunda de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* y la cantidad de dientes de la polea de la máquina que se prueba (es decir, el *Motor/generador cc*), respectivamente.
- Asegúrese de que el parámetro *Control del par* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente el par del freno de dos cuadrantes.
- Configure el parámetro *Par* en el valor máximo (3,0 N·m o 26,5 lbf-pulg.). Esto configura el comando par del *Freno de par constante de dos cuadrantes* en 3,0 N·m (26,5 lbf-pulg.).



*También se puede configurar el comando par mediante la perilla *Par* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*.*

- Arranque el *Freno de par constante de dos cuadrantes* ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha* o haciendo clic en el botón *Marcha/Parada*.

10. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana *Aparatos de medición*. Configure dos medidores para calcular la tensión del inducido E_A (*E1*) y la corriente del inducido I_A (*I1*) del motor cc. Configure un otro medidor para calcular la resistencia del inducido del motor cc R_A [*RDC (E1, I1)*]. Por último, configure otro medidor para calcular la corriente de campo I_f (*I2*) del motor cc.

Haga clic en el botón *Regeneración continua* para habilitar la actualización continua de los valores de los diversos medidores de la aplicación *Aparatos de medición*.

Determinar la resistencia del inducido

En esta sección usted medirá la resistencia del inducido R_A del motor/generador cc. No se puede medir la resistencia del inducido R_A del motor/generador cc con un óhmetro común porque el hecho de que las escobillas del motor no sean lineales produce resultados incorrectos cuando la corriente del inducido I_A es demasiado baja. El método general que se usa para medir R_A consiste en conectar una fuente de energía cc al inducido del motor y medir la tensión necesaria para que circule corriente nominal en los bobinados del inducido. No se conecta ninguna fuente de energía al estátor del motor para evitar que el motor rote y que E_{CEMF} sea igual a cero. La relación entre la tensión del inducido E_A y la corriente del inducido I_A produce directamente la resistencia del inducido R_A .



El motor no empezará a rotar porque está cargado mecánicamente.

11. Encienda la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición *I* (encendido). Ajuste la perilla de control de tensión de la *Fuente de alimentación* de modo que la corriente del inducido I_A (indicada por el medidor *I1* en la ventana *Aparatos de medición*) que circula en el *Motor/generador cc* sea igual a la corriente nominal del inducido.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden



Las características de todas las máquinas utilizadas están indicadas en la sección inferior del panel frontal del módulo.

Registre el valor de la resistencia del inducido R_A [indicado por el medidor *RDC (E1, I1)* en la ventana *Aparatos de medición*].

Resistencia del inducido $R_A = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

12. En la *Fuente de alimentación*, ajuste la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la *Fuente de alimentación*).

Conecte los puntos A y B del circuito de la figura 2-16.

Relación entre la velocidad del motor y la tensión del inducido

En esta sección, usted medirá valores y representará gráficamente la velocidad n del motor cc con excitación independiente en función de la tensión del inducido E_A para demostrar que la velocidad del motor es proporcional a la tensión del inducido en condiciones en vacío.

13. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana *Tabla de datos*. Configure la *Tabla de datos* para registrar la velocidad de rotación n y par T del motor cc (indicados por los medidores de *Velocidad* y *Par* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*), así como la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor cc (indicadas por los medidores *E1*, *I1* y *I2*, respectivamente, en la ventana *Aparatos de medición*).
14. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, configure el parámetro *Par* en 0,0 N·m (o 0,0 lbf·pulg.).
15. Encienda la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido).

En el *Motor/generador cc*, ajuste la perilla del *Reóstato de campo* de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor *I2* en la ventana *Aparatos de medición*) sea igual al valor indicado en la tabla 2-1 para su red eléctrica ca local.

Tabla 2-1. Corriente de campo I_f .

Red eléctrica ca local		Corriente de campo I_f (mA)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	300
220	50	190
240	50	210
220	60	190

16. En la **Fuente de alimentación**, Ajuste la perilla de control de tensión de 0% a 100% en etapas de 10%, con el fin de incrementar la tensión del inducido E_A en etapas. Para cada configuración, espere hasta que se estabilice la velocidad del motor, luego registre la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor, así como la velocidad de rotación n y el par T del motor en la **Tabla de datos**.
17. Cuando se hayan registrado todos los datos, detenga el **Motor/generador cc** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos y guarde la tabla en un archivo con el nombre DT211 y si desea, imprímala.

18. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la velocidad n del motor cc en función de la tensión del inducido E_A . Titule el gráfico "G211", denomine el eje x "Tensión del inducido" y el eje y "Velocidad del motor", y si desea, imprima el gráfico.

¿Qué tipo de relación existe entre la tensión del inducido E_A y la velocidad n del motor cc?

¿Este gráfico confirma que el motor cc con excitación independiente es equivalente a un convertidor lineal de tensión a velocidad, en el cual una mayor tensión produce una mayor velocidad?

Sí No

19. Use los dos puntos finales para calcular la pendiente K_1 de la relación obtenida en el gráfico G211. Los valores de esos puntos se indican en la tabla de datos DT211.

$$K_1 = \frac{n_2 - n_1}{E_2 - E_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{r/min}}{\text{V}}$$

20. En la ventana [Tabla de datos](#), borre los datos registrados.

Relación entre el par motor y la corriente del inducido

En esta sección, usted medirá valores y representará gráficamente el par T del motor cc con excitación independiente en función de la corriente del inducido I_A para demostrar que el par motor es proporcional a la corriente del inducido.

21. En la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), asegúrese de que el parámetro *Par* esté en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).
22. Encienda la [Fuente de alimentación](#) ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

En el [Motor/generador cc](#), si es necesario reajuste levemente la perilla del [Reóstato de campo](#) de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor *I2* en la ventana [Aparatos de medición](#)) sea igual al valor indicado en la tabla 2-1 para su red eléctrica ca local.

En la [Fuente de alimentación](#), ajuste la perilla de control de tensión de modo que la velocidad de rotación n del motor sea 1500 r/min. Observe y registre el valor de la tensión del inducido E_A ($E1$) del motor.

Tensión del inducido E_A ($n = 1500$ r/min) = _____ V

Observe y registre el valor del par motor T indicado por el medidor *Par* en el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#).

Par motor T (mínimo) = _____ N·m (lbf·pulg.)

23. En la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), configure el parámetro *Par* con el valor mínimo medido en el paso 22. Registre en la [Tabla de datos](#) la velocidad de rotación n y el par T del motor, así como la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor.

Incremente el parámetro *Par* del valor mínimo a unos 2,3 N·m (alrededor de 20,4 lbf·pulg.) en etapas de 0,2 N·m (o 2,0 lbf·pulg.). Para cada configuración de par, vuelva a ajustar la perilla de control de tensión de la [Fuente de alimentación](#) de modo que la tensión del inducido E_A sea igual al valor registrado en el paso 22 y luego registre en la [Tabla de datos](#) la

velocidad de rotación n y el par T , así como la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor.

ATENCIÓN

Es posible que la corriente del inducido I_A supere el valor nominal mientras se realiza este ajuste, por lo que es preciso hacerlo en menos de 5 minutos.

- 24.** Cuando se hayan guardado todos los datos, detenga el **Motor/generador cc** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos y guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT212 y si desea, imprímala.

- 25.** En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico del par n del motor cc en función de la corriente del inducido I_A . Titule el gráfico “G212”, denomine el eje x “Corriente del inducido” y el eje y “Par motor”, y si desea, imprima el gráfico.

¿Qué tipo de relación existe entre la corriente del inducido I_A y el par T del motor cc mientras la corriente del inducido no excede el valor nominal?

¿Este gráfico confirma que el motor cc con excitación independiente es equivalente a un convertidor lineal de corriente a par (cuando la corriente del inducido no supera el valor nominal), en el cual una mayor tensión a su vez produce un mayor par?

Sí No



La relación entre el par y la corriente deja de ser lineal cuando la corriente del inducido I_A supera el valor nominal por un fenómeno denominado reacción de inducido. Este fenómeno se describe en la próxima unidad de este manual.

- 26.** Use los dos puntos finales de la parte lineal de la relación obtenida en el gráfico G212 para calcular la pendiente K_2 . Los valores de esos puntos se indican en la tabla de datos DT212.

$$K_2 = \frac{T_2 - T_1}{I_2 - I_1} = \frac{\quad - \quad}{\quad - \quad} = \frac{\quad}{\quad} \frac{\text{N} \cdot \text{m} \text{ (lbf} \cdot \text{pulg.)}}{\text{A}}$$

Relación entre la disminución de la velocidad y la corriente del inducido

En esta sección, usted demostrará que cuando la tensión del inducido E_A se configura en un valor fijo, la velocidad del motor cc con excitación independiente disminuye a mayor corriente del inducido o par motor a causa de la mayor caída de tensión en el resistor del inducido.

- 27.** Con los valores determinados previamente para la resistencia del inducido R_A (paso 11), la constante K_1 (paso 19) y la tensión del inducido E_A (paso 22), calcule la velocidad de rotación n del motor para las tres corrientes del inducido I_A establecidas en la tabla 2-2 para su red eléctrica ca local.

$$E_{RA} = I_A \times R_A$$

$$E_{CEMF} = E_A - E_{RA}$$

$$n = E_{CEMF} \times K_1$$

Tabla 2-2. Corrientes del inducido del motor cc I_A .

Red eléctrica ca local		Corriente del inducido I_A (A)		
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	1,0	2,0	3,0
220	50	0,5	1,0	1,5
240	50	0,5	1,0	1,5
220	60	0,5	1,0	1,5

Cuando $I_A = \underline{\hspace{2cm}}$ A:

$$E_{RA} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{CEMF} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$n = \underline{\hspace{2cm}} \text{ r/min}$$

Cuando $I_A = \underline{\hspace{2cm}}$ A:

$$E_{RA} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{CEMF} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$n = \underline{\hspace{2cm}} \text{ r/min}$$

Cuando $I_A = \underline{\hspace{2cm}}$ A:

$$E_{RA} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{CEMF} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$n = \underline{\hspace{2cm}} \text{ r/min}$$

Sobre la base de sus resultados, ¿cómo deberían variar la tensión E_{CEMF} y la velocidad n del motor cc cuando se incrementa la corriente del inducido I_A ?

- 28.** En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la velocidad n del motor cc en función de la corriente del inducido I_A utilizando los datos registrados previamente en la tabla de datos DT212. Titule el gráfico “G212-1”, denomine el eje x “Corriente del inducido” y el eje y “Velocidad del motor”, y si desea, imprima el gráfico.

¿Confirma el gráfico G212-1 lo que anticipó usted en el paso anterior acerca de la variación de la velocidad n del motor cc en función de la corriente del inducido I_A ?

Sí No

Explique brevemente cuáles son las causas por las cuales la velocidad n del motor cc disminuye cuando la tensión del inducido E_A es fija y aumenta la corriente del inducido I_A .

- 29.** En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la velocidad n del motor cc en función del par T del motor cc, utilizando los datos registrados previamente en la tabla de datos DT212. Titule el gráfico “G212-2”, denomine el eje x “Par motor” y el eje y “Velocidad del motor”, y si desea, imprima el gráfico. Este gráfico se utilizará en el próximo ejercicio de esta unidad.



Si desea realizar los experimentos adicionales, omita el próximo paso y vuelva al mismo una vez que haya terminado todas las etapas adicionales.

30. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal se encuentre en la posición **O** (apagado) y luego apague la fuente de energía ca de 24 V. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Apague el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Desconecte todos los cables y guárdelos.

Experimentos adicionales (optativo)

Características de la relación entre la velocidad del motor y la tensión del inducido y de la relación entre el par motor y la corriente del inducido en conexiones invertidas del inducido.

Puede obtener gráficos de la velocidad n del motor cc en función de la tensión del inducido E_A y del par T del motor cc en función de la corriente del inducido I_A con conexiones invertidas del inducido. Para ello, asegúrese de que la **Fuente de alimentación** esté apagada [interruptor principal en la posición **O** (apagado)] e invierta las conexiones de la salida de tensión cc variable (fuente de tensión E_S) de la figura 2-16. Asegúrese de que la perilla de control de tensión de la Fuente de alimentación esté ajustada en 0%. Consulte los pasos 13 a 25 de este ejercicio para registrar los datos necesarios y obtener los gráficos. De este modo, podrá verificar que la relación lineal entre la velocidad n del motor y la tensión del inducido E_A , y entre el par motor T y la corriente del inducido I_A son válidas independientemente de la polaridad de la tensión del inducido E_A . Si vuelve a calcular las constantes K_1 y K_2 verá que los valores no dependen de la polaridad de la tensión del inducido.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted aprendió a medir la resistencia del inducido de un motor cc. Observó que la velocidad de rotación de un motor cc con excitación independiente es proporcional a la tensión del inducido que se aplica al motor. Observó que el par producido por un motor cc es proporcional a la corriente del inducido. También observó que la velocidad del motor cc disminuye con el aumento de la corriente del inducido cuando la tensión del inducido es fija. Asimismo, demostró que esta disminución de la velocidad se debe a la mayor caída de tensión a través del resistor del inducido a medida que aumenta la corriente del inducido.

Si realizó los experimentos adicionales, habrá observado que la relación entre la velocidad y la tensión del inducido y la relación entre el par y la corriente del inducido no se ven afectadas por la polaridad de la tensión del inducido. También habrá observado que se invierte la dirección de rotación cuando se invierte la polaridad de la tensión del inducido.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Qué tipo de relación existe entre la velocidad de rotación y la tensión del inducido de un motor cc con excitación independiente?

2. ¿Qué tipo de relación existe entre el par y la corriente del inducido de un motor cc con excitación independiente mientras la corriente del inducido no exceda el valor nominal?

3. Si se conecta una fuente de energía cc al inducido de un motor cc que funciona sin corriente de campo y se mide la tensión que produce un flujo de corriente nominal en el inducido, ¿qué parámetro del motor cc se puede determinar?

4. ¿Aumenta o disminuye la velocidad de rotación de un motor cc con excitación independiente cuando aumenta la corriente del inducido?

5. Un motor cc tiene una resistencia del inducido R_A y una constante K_1 de $0,5 \Omega$ y 5 r/min/V , respectivamente. Se aplica al motor una tensión de 200 V . La corriente del inducido en vacío es de 2 A . A plena carga, la corriente del inducido aumenta a 50 A . ¿Cuál es la velocidad del motor en vacío y a plena carga?

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Motores con excitación independiente, serie, shunt y compound

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al finalizar este ejercicio, usted podrá demostrar la forma en que la corriente de campo afecta las características de un motor cc con excitación independiente mediante el motor/generador cc. También podrá demostrar las principales características de funcionamiento de motores con excitación independiente, serie, shunt y compound.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio abarcan los siguientes puntos:

- Motor cc con excitación independiente
- Motor serie
- Motor shunt
- Motor compound

PRINCIPIOS

Motor cc con excitación independiente

Es posible modificar las características de un motor cc con excitación independiente cambiando la fuerza del campo magnético fijo producido por el electroimán del estátor. Esto se puede hacer cambiando la corriente que fluye en el electroimán del estátor. Por lo general, a esta corriente se la denomina corriente de campo (I_f) porque se la utiliza para generar el campo magnético fijo del motor cc. Se puede usar un reóstato conectado en serie con el bobinado del electroimán para hacer variar la corriente de campo.

En la figura 2-17 se representa la forma en que se ven afectadas la relación entre la velocidad y la tensión del inducido y la relación entre el par y la corriente del inducido de un motor cc con excitación independiente cuando se reduce la corriente de campo por debajo de su valor nominal. La constante K_1 aumenta, mientras que K_2 disminuye. Esto significa que el motor puede rotar a una velocidad mayor sin exceder la tensión nominal del inducido. Sin embargo, se reduce el par que puede desarrollar el motor sin exceder la corriente nominal del inducido.

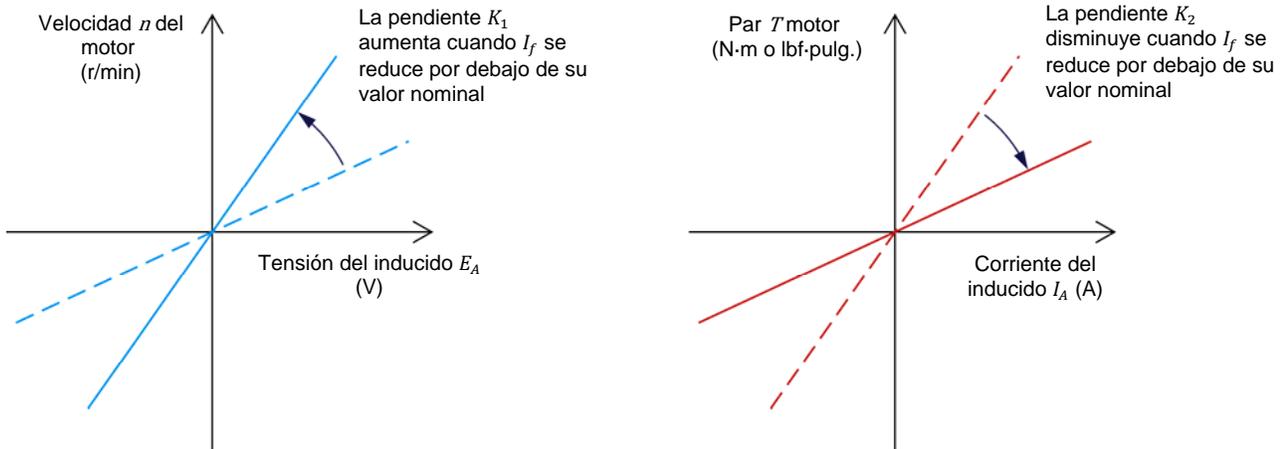


Figura 2-17. La disminución de la corriente I_f por debajo de su valor nominal afecta a las constantes K_1 y K_2 .

También es posible configurar la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente por encima de su valor nominal por breves intervalos de tiempo. Se invierte el efecto de la relación entre la velocidad y la tensión del inducido y de la relación entre el par y la corriente del inducido, es decir, se reduce la constante K_1 y aumenta la constante K_2 . Por lo tanto, el motor puede desarrollar un par más elevado durante esos intervalos, pero se reduce la velocidad a la que puede rotar sin exceder la tensión nominal del inducido. Al incrementar la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente cuando este arranca, aumenta el par motor y por consiguiente se logra una mayor aceleración.

También se puede cambiar la fuerza del campo magnético fijo de un motor cc modificando la manera en que está instalado el electroimán del estátor. El electroimán del estátor, o electroimán de campo, puede ser un bobinado shunt conectado directamente a una fuente de tensión cc, como en el caso de un motor cc con excitación independiente. También se puede conectar un bobinado shunt en paralelo con el inducido del motor cc. El electroimán de campo también puede constar de un bobinado serie, es decir, una bobina compuesta de varios bucles de alambre de calibre grueso, conectado en serie al inducido. Asimismo, se puede emplear una combinación de bobinados shunt y serie para configurar el electroimán de campo.

Hasta ahora se han utilizado diversas configuraciones de electroimán para construir varios tipos de motores cc que presentan distintas características cuando se los conecta a una fuente de energía cc de tensión fija. Esto era necesario cuando se usaban los primeros motores cc, porque no se disponía entonces de fuentes de energía cc de tensión variable. Estos motores cc, que hoy en día se emplean cada vez menos, están descriptos brevemente en las siguientes secciones.

Motor serie

El **motor serie** es un motor cuyo electroimán de campo consiste en un bobinado en serie conectado en serie con el inducido, como se muestra en la figura 2-18. Por lo tanto, la fuerza del electroimán de campo varía cuando se modifica la corriente del inducido. En consecuencia, las constantes K_1 y K_2 varían cuando cambia la corriente del inducido. La figura 2-18 muestra las características de la relación entre velocidad y par en un motor serie cuando la tensión del inducido es fija. Estas características muestran que la velocidad disminuye de forma no lineal con el aumento del par, es decir, con el aumento de la corriente del inducido.

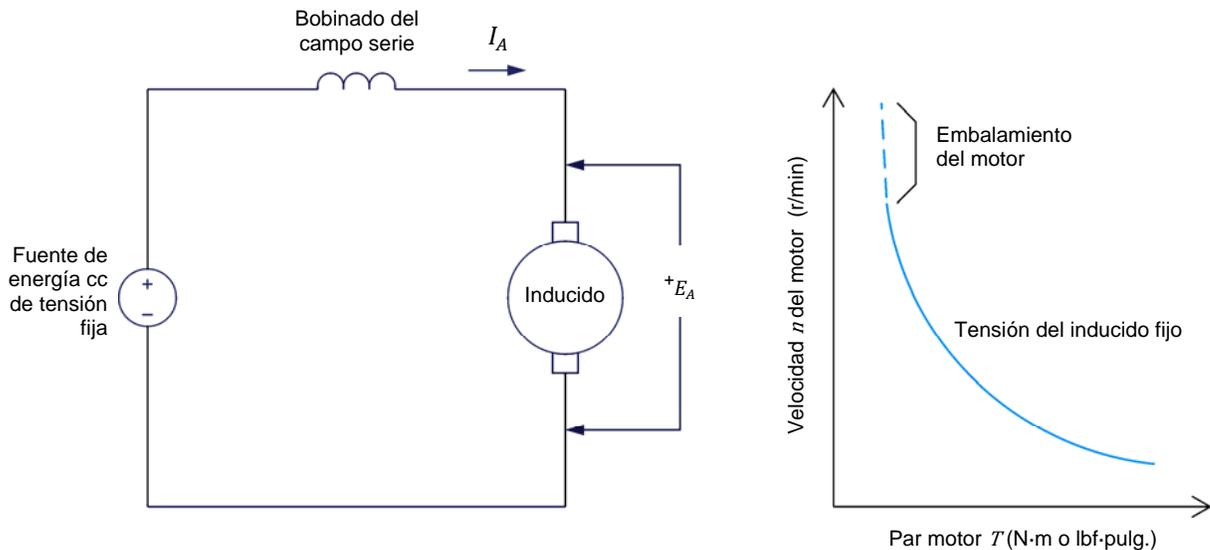


Figura 2-18. Motor serie y características de su relación entre velocidad y par.

El motor serie ofrece un par de arranque muy fuerte y una amplia gama de velocidades de funcionamiento cuando recibe tensión fija de una fuente de energía cc. No obstante, la velocidad, el par y la corriente del inducido dependen de la carga mecánica que se aplique al motor. Además, el motor serie tiene características de funcionamiento no lineales, como sugiere la relación entre la velocidad y el par de la figura 2-18. Por lo tanto, es difícil hacer funcionar un motor serie a velocidad constante cuando fluctúa la carga mecánica. Asimismo, es preciso limitar la corriente del inducido para evitar que se dañe el motor al arrancar (cuando se aplica potencia al motor). Por último, un motor serie nunca debe funcionar sin carga mecánica porque la velocidad se incrementa mucho, lo que puede dañar el motor (embalamiento del motor).

Actualmente, los motores serie pueden funcionar con fuentes de alimentación de tensión fija, por ejemplo, los motores de arranque de los automóviles; o con fuentes de energía de tensión variable, como los sistemas de tracción.

Motor shunt

El **motor shunt** es un motor cuyo electroimán de campo es un bobinado shunt conectado en paralelo al inducido; ambos están conectados a la misma fuente de tensión cc, como se muestra en la figura 2-19. A una tensión fija del inducido corresponden constantes K_1 y K_2 fijas y la característica de la relación entre velocidad y par es similar a la que se obtiene con un motor cc con excitación independiente conectado a una fuente de energía cc de tensión fija, como se muestra en la figura 2-19. Al igual que en un motor cc con excitación independiente, es posible cambiar las características (K_1 y K_2) de un motor shunt haciendo variar la corriente de campo con un reóstato. Sin embargo, es difícil cambiar la velocidad de un motor shunt cambiando la tensión del inducido, porque esto modifica la corriente de campo y por lo tanto, las características del motor, de forma tal que resultan opuestas al cambio de velocidad.

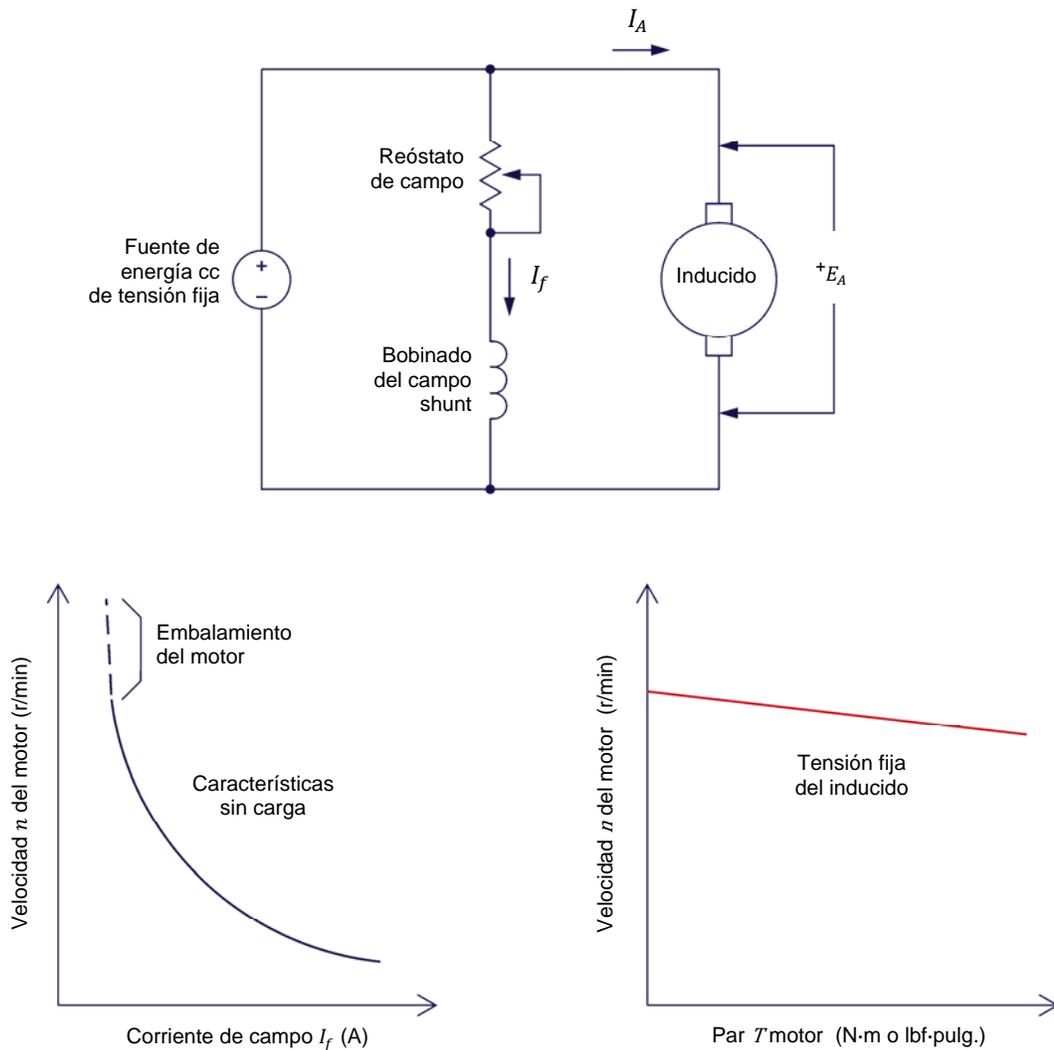


Figura 2-19. Motor shunt y sus características.

La ventaja principal de un motor shunt es que se necesita una sola fuente de energía cc de tensión fija para suministrar energía al inducido y al bobinado shunt. Además, la velocidad del motor sufre pocas variaciones cuando cambia la carga mecánica. No obstante, los motores shunt tienen una gama limitada de velocidades, porque la velocidad no es muy sensible a la variación de la tensión del inducido. Asimismo, es preciso limitar la corriente del inducido para evitar que se dañe el motor al arrancar (cuando se aplica potencia al motor). Por último, cuando se abre accidentalmente el bobinado shunt, la corriente de campo I_f se vuelve nula, la velocidad del motor aumenta rápidamente y se produce el embalamiento del motor, como sugieren las características de la relación entre la velocidad y la corriente de campo que se muestran en la figura 2-19.

Motor compound

Es posible combinar bobinados shunt y serie para obtener una característica concreta de la relación entre la velocidad y el par. Por ejemplo, para obtener la característica de que la velocidad disminuye cuando aumenta el par motor, se puede conectar un bobinado serie con el inducido para que el flujo magnético que éste genera se suma al flujo magnético creado por un bobinado shunt. Por lo tanto, el flujo magnético aumenta automáticamente cuando la corriente del inducido lo hace. A este tipo de motor cc se lo denomina **motor compound acumulativo**, porque se suman los flujos magnéticos producidos por los bobinados serie y shunt. También se pueden conectar los bobinados shunt y serie de modo que el flujo magnético de uno se reste del flujo del otro. Esta conexión produce un **motor compound diferencial**, que se utiliza rara vez porque el motor se vuelve inestable cuando aumenta la corriente del inducido. En la figura 2-20 se observa un motor compound y las características de la relación entre la velocidad y el par (compound acumulativo).

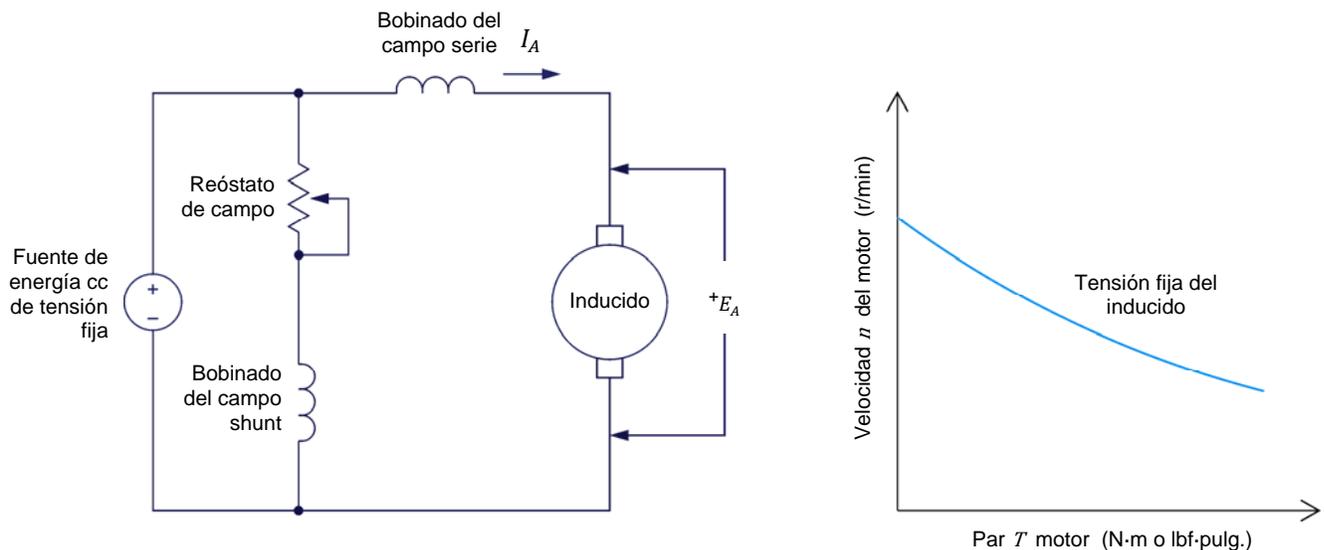


Figura 2-20. Motor compound y características de la relación entre la velocidad y el par.

La figura 2-21 es un gráfico en el que se representan las características de la relación entre la velocidad y el par de los diversos tipos de motor cc que se han analizado. Como puede observarse, el motor cc con excitación independiente y el motor shunt tienen características muy similares. El aspecto principal de estas características es que la velocidad del motor varía poco y en forma lineal cuando varía el par. Por otra parte, las características del motor serie no son lineales y se observa que la velocidad del motor experimenta una gran variación (amplia gama de velocidades de funcionamiento) con las variaciones de par. Por último, las características de un motor compound acumulativo combinan las características de los motores serie y shunt: brindan al motor compound una gama bastante amplia de velocidades de funcionamiento, pero la velocidad no varía en forma lineal con la variación del par.

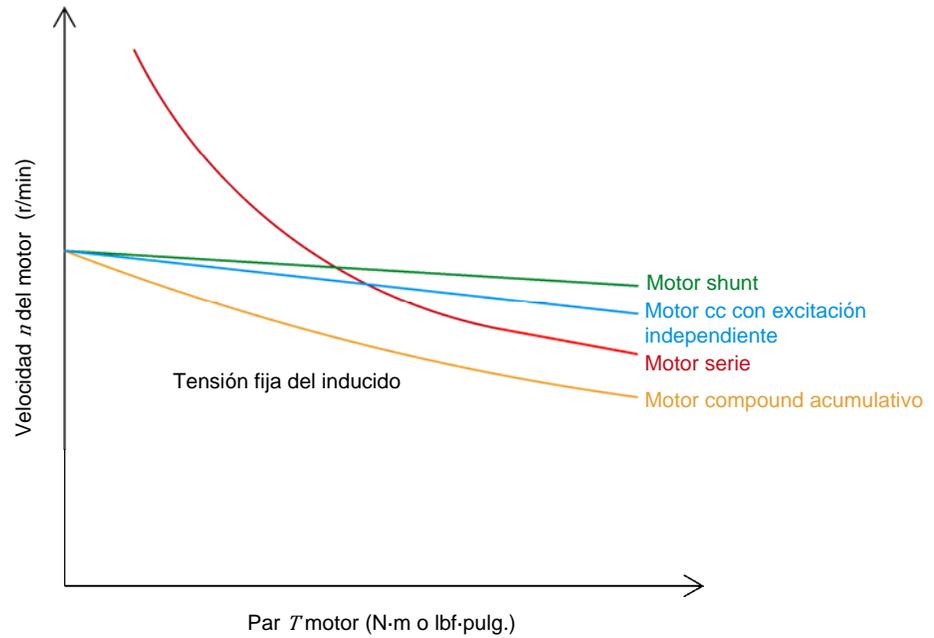


Figura 2-21. Características de la relación entre velocidad y par de diversos motores cc.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento se divide en las siguientes secciones:

- Instalación y conexiones
- Características de la relación entre velocidad y tensión del inducido de un motor cc con excitación independiente
- Características de la relación entre el par y la corriente del inducido de un motor cc con excitación independiente
- Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor serie
- Experimentos adicionales (optativo)
Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor shunt. Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor compound acumulativo.

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones elevadas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana sin apagar la fuente de alimentación, a menos que se especifique lo contrario.

Instalación y conexiones

En esta sección usted acoplará mecánicamente el motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes. Luego instalará un motor cc con excitación independiente y el equipo necesario para medir los parámetros del motor.

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo del Apéndice A para conocer la lista de equipos necesarios para este ejercicio. Instale el equipo en el **Puesto de trabajo**.



*Antes de empezar el ejercicio, verifique que las escobillas del **Motor/generador cc** estén en el punto neutro. Conecte una fuente de energía ca de tensión variable (terminales 4 y N de la **Fuente de alimentación**) al inducido del **Motor/generador cc** (terminales 1 y 2) a través de la entrada de corriente I1 de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**. Conecte el bobinado shunt del **Motor/generador cc** (terminales 5 y 6) a la entrada de tensión E1 de la DACI. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Aparatos de medición**. Configure dos medidores para calcular el valor eficaz (ca) de la tensión del inducido E_A y de la corriente del inducido I_A en las entradas E1 e I1 de la DACI, respectivamente. Encienda la **Fuente de alimentación** y ajuste la perilla de control de tensión de modo que la corriente ca (indicada por el medidor I1 en la ventana **Aparatos de medición**) sea igual a la mitad de la corriente nominal del inducido que circula en el inducido del **Motor/generador cc**. Ajuste la palanca de control de la escobilla del **Motor/generador cc** de modo que sea mínima la tensión que circula a través del bobinado shunt (indicada por el medidor E1 en la ventana **Aparatos de medición**). Apague la **Fuente de alimentación**, cierre el software **LVDAC-EMS** y desconecte todos los cables.*

Acople mecánicamente el **Motor/generador cc** al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** mediante una correa de distribución.



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

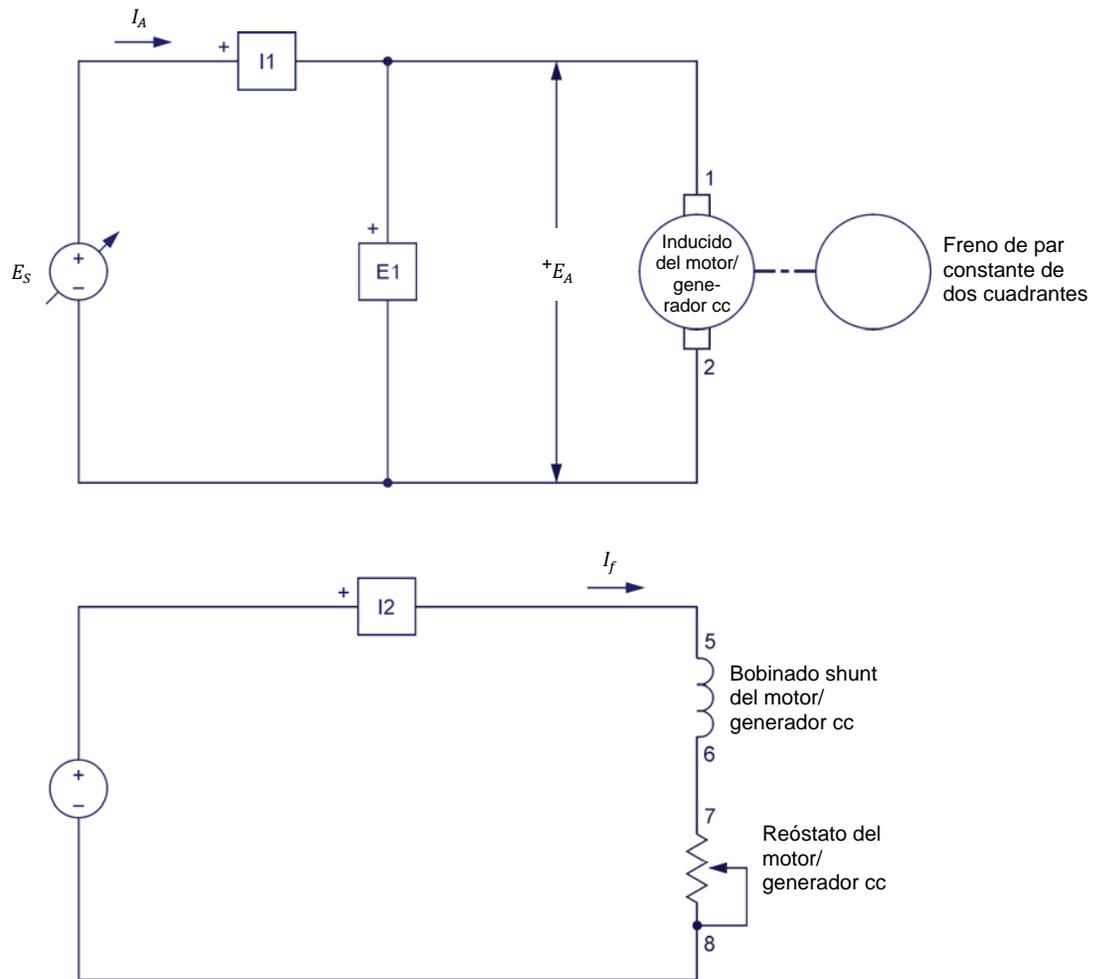
2. Asegúrese de que el interruptor principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** se encuentre en la posición **O** (apagado), luego conecte la **Entrada de potencia** a una salida de energía ca de la pared.
3. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal y el de energía ca de 24 V se encuentren en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión indique 0% (girada completamente en sentido antihorario). Conecte la **Fuente de alimentación** a una salida de energía ca trifásica.
4. Conecte la **Entrada de potencia** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)** a la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

Encienda la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

5. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** a un puerto USB de la computadora.

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 2-22. (Nótese que este procedimiento es el mismo que se usó en el ejercicio anterior). Use la salida de tensión cc variable de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_s . Use la salida de tensión cc fija de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión fija. $E1$, $I1$ e $I2$ son entradas de tensión y corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**.



* Si la tensión de su red eléctrica ca local es de 220 V, use el módulo *Carga resistiva* para conectar un resistor de 880 Ω en serie con el reóstato del Motor/generador cc. Si esa tensión es de 240 V, conecte un resistor de 960 Ω en serie con el reóstato. Si la tensión es de 120 V, no conecte ninguna resistencia.

Figura 2-22. Motor cc con excitación independiente acoplado a un freno.

7. En el *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, ajuste el interruptor *Modo de operación* en *Dinamómetro*. Esta configuración permite que el *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* funcione como motor de impulsión, freno o ambos, según la función seleccionada.

Encienda el *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

8. Encienda la computadora y ejecute el software LVDAC-EMS.

En la ventana *Arranque de LVDAC-EMS* asegúrese de que se hayan detectado la *Interfaz de adquisición de datos y de control* y el *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*. Asegúrese de que la función *Instrumentación informatizada* esté disponible para dicha interfaz. Asimismo, seleccione la tensión y frecuencia correspondientes a la tensión y frecuencia de la red eléctrica ca local, luego haga clic en el botón *Aceptar* para cerrar la ventana *Arranque de LVDAC-EMS*.

9. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* y luego realice las siguientes configuraciones:

- Ajuste el parámetro *Función* la opción *Freno de par constante de dos cuadrantes*. Esta configuración hace que el *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* funcione como un freno de dos cuadrantes con un valor de par que corresponde al parámetro *Par*.
- Ajuste el parámetro *Relación de la polea* la opción 24:24. Las cifras primera y segunda de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* y la cantidad de dientes de la polea de la máquina que se prueba (es decir, el *Motor/generador cc*), respectivamente.
- Asegúrese de que el parámetro *Control del par* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente el par del freno de dos cuadrantes.
- Configure el parámetro *Par* en 0,0 N·m (o 0,0 lbf·pulg.).



*También se puede configurar el comando par mediante la perilla *Par* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*.*

- Arranque el *Freno de par constante de dos cuadrantes* ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha* o haciendo clic en el botón *Marcha/Parada*.

10. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana *Aparatos de medición*. Configure dos medidores para calcular la tensión del inducido E_A (*E1*) y la corriente del inducido I_A (*I1*) del motor cc. Configure un medidor para calcular la corriente de campo I_f (*I2*) del motor cc.

Haga clic en el botón *Regeneración continua* para habilitar la actualización continua de los valores de los diversos medidores de la aplicación *Aparatos de medición*.

11. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana *Tabla de datos*. Configure la *Tabla de datos* para registrar la velocidad de rotación n y el par T del motor cc (indicados por los medidores *Velocidad* y *Par* en la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*), así como la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor cc (indicadas por los medidores *E1*, *I1* e *I2*, respectivamente, en la ventana *Aparatos de medición*).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Características de la relación entre velocidad y tensión del inducido de un motor cc con excitación independiente

En esta sección usted configurará la corriente de campo del motor cc con excitación independiente a un valor más bajo que en el ejercicio anterior (por debajo del valor nominal). Medirá valores y representará gráficamente la relación entre la velocidad n del motor y la tensión E_A del inducido. También calculará el valor de la constante K_1 y comparará ese valor K_1 y el gráfico con los obtenidos en el ejercicio anterior a fin de determinar la manera en que afecta estas características una disminución de la corriente de campo.

12. Encienda la Fuente de alimentación ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

En el Motor/generador cc, ajuste la perilla *Reóstato de campo* de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor I2 en la ventana *Aparatos de medición*) sea igual al valor indicado en la tabla 2-3 para su red eléctrica ca local.

Tabla 2-3. Corriente de campo I_f .

Red eléctrica ca local		Corriente de campo I_f (mA)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	200
220	50	125
240	50	140
220	60	125

13. En la Fuente de alimentación, ajuste la perilla de control de tensión de 0% a 100% en etapas de 10%, con el fin de incrementar la tensión del inducido E_A en etapas. Para cada configuración, espere hasta que se estabilice la velocidad del motor, luego registre la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor, así como la velocidad de rotación n y el par T del motor en la *Tabla de datos*.
14. Cuando se hayan registrado todos los datos, detenga el Motor/generador cc ajustando la perilla de control de tensión en 0% y el interruptor principal de la Fuente de alimentación en la posición O (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la Fuente de alimentación).

En la ventana *Tabla de datos*, confirme que se hayan almacenado los datos y guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT221 y si desea, imprímala.

15. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la velocidad n del motor cc en función de la tensión del inducido E_A . Titule el gráfico “G221”, denomine el eje x “Tensión del inducido” y el eje y “Velocidad del motor”, y si desea, imprima el gráfico.
16. Use los dos puntos extremos para calcular la pendiente K_1 de la relación obtenida en el gráfico G221. Los valores de esos puntos se indican en la tabla de datos DT221.

$$K_1 = \frac{n_2 - n_1}{E_2 - E_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{r/min}}{\text{V}}$$

Compare el gráfico G221 y la constante K_1 obtenidos en este ejercicio con el gráfico G211 y la constante K_1 obtenidos en el ejercicio anterior. Describa el efecto que causa la disminución de la corriente de campo I_f en las características de la relación entre la velocidad y la tensión y en la constante K_1 de un motor cc con excitación independiente.

17. En la ventana **Tabla de datos**, borre los datos guardados.

Características de la relación entre el par y la corriente del inducido de un motor cc con excitación independiente

En esta sección, medirá valores y representará gráficamente el par T del motor cc con excitación independiente en función de la corriente del inducido I_A . Calculará el valor de la constante K_2 . Además, comparará ese valor y el gráfico con los obtenidos en el ejercicio anterior a fin de determinar la manera en que una disminución en la corriente de campo afecta estas características.

18. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, asegúrese de que el parámetro **Par** esté en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

En el **Motor/generador cc**, reajuste levemente la perilla **Reóstato de campo**, si es necesario, de modo que la corriente de campo I_f (indicada por el medidor **I2**) siga siendo igual al valor indicado en la tabla 2-3 para su red eléctrica ca local.

En la **Fuente de alimentación**, ajuste la perilla de control de tensión de modo que la velocidad de rotación n del motor sea 1500 r/min. Observe y registre el valor de la tensión del inducido E_A (medidor **E1**) del motor.

Tensión del inducido E_A ($n = 1500$ r/min) = _____ V

Observe y registre el valor del par motor T (indicado por el medidor **Par** en el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**).

Par motor T (mínimo) = _____ N·m (lbf·pulg.)

19. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** con el valor mínimo medido en el paso 18. Registre en la **Tabla de datos** la velocidad de rotación n y el par T del motor, así como la tensión del inducido E_A , la corriente del inducido I_A y la corriente de campo I_f del motor.

Incremente el parámetro **Par** del valor mínimo a unos 1,5 N·m (alrededor de 14,0 lbf·pulg.) en etapas de 0,2 N·m (o 2,0 lbf·pulg.). Para cada configuración de par, vuelva a ajustar la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** de modo que la tensión del inducido E_A siga siendo igual al valor registrado en el paso 18 y luego registre en la **Tabla de datos** la velocidad de rotación n y el par T , así como la tensión del inducido E_A , y las corrientes inducido I_A y de campo I_f del motor.

ATENCIÓN

Es posible que la corriente del inducido I_A supere el valor nominal mientras se realiza este ajuste, por lo que es preciso hacerlo en menos de 5 minutos.

20. Cuando se hayan registrado todos los datos, detenga el **Motor/generador cc** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos y guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT222 y si desea, imprímala.

21. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico del par T del motor cc en función de la corriente del inducido I_A . Titule el gráfico "G222", denomine el eje x "Corriente del inducido" y el eje y "Par motor", y si desea, imprima el gráfico.



La relación entre el par y la corriente deja de ser lineal cuando la corriente del inducido supera el valor nominal por un fenómeno denominado reacción de inducido. Este fenómeno se describe en la próxima unidad de este manual.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

22. Use los dos puntos finales de la parte lineal de la relación obtenida en el gráfico G222 para calcular la pendiente K_2 . Los valores de esos puntos se indican en la tabla de datos DT222.

$$K_2 = \frac{T_2 - T_1}{I_2 - I_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{N} \cdot \text{m} (\text{lbf} \cdot \text{pulg.})}{\text{A}}$$

Compare el gráfico G222 y la constante K_2 obtenidos en este ejercicio con el gráfico 212 y la constante K_2 obtenidos en el ejercicio anterior. Describa el efecto que causa la disminución de la corriente de campo I_f en las características de la relación entre el par y la corriente y en la constante K_2 de un motor cc con excitación independiente.

23. En la ventana [Tabla de datos](#), borre los datos guardados.

Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor serie

En esta sección usted conectará el Motor/Generador cc como motor serie. Medirá valores y representará gráficamente la velocidad n del motor en función del par motor T . Comparará las características de la relación entre la velocidad y el par del motor serie con las del motor cc con excitación independiente obtenidas en el ejercicio anterior.

24. Cambie las conexiones para obtener el circuito de motor serie que se muestra en la figura 2-23. Use la salida de tensión cc variable de la [Fuente de alimentación](#) para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_s . $E1$ e $I1$ son entradas de tensión y corriente de la [Interfaz de adquisición de datos y de control \(DACI\)](#).

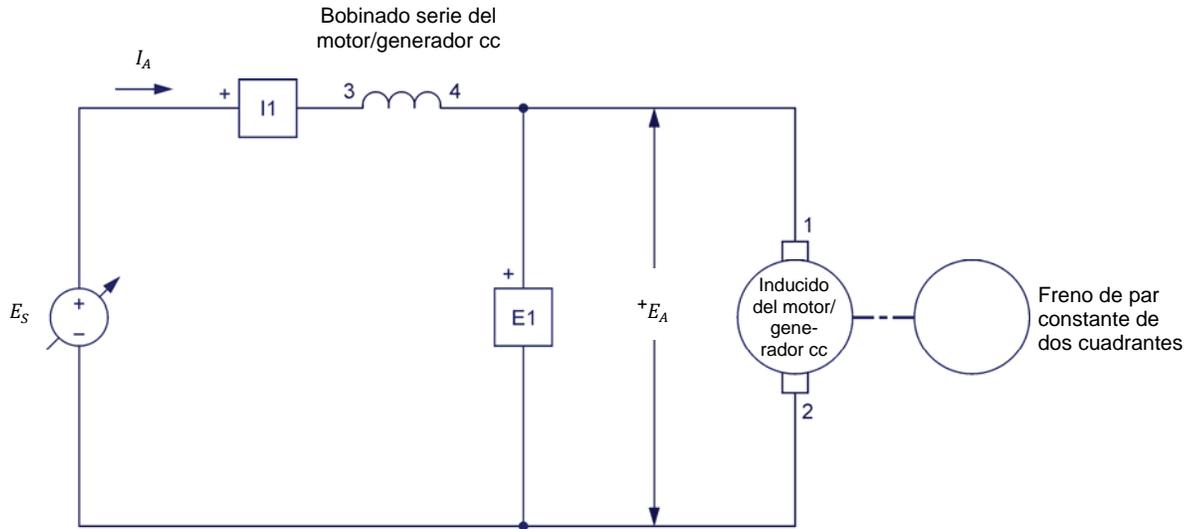


Figura 2-23. Motor serie acoplado a un freno.

25. En la ventana **Aparatos de medición**, asegúrese de que los medidores estén configurados para calcular la tensión del inducido E_A ($E1$) y la corriente del inducido I_A ($I1$) del motor cc.

Verifique que la **Tabla de datos** esté lista para registrar la velocidad de rotación n y el par T del motor cc (indicados por los medidores **Velocidad** y **Par** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**), así como la tensión del inducido E_A y la corriente del inducido I_A del motor cc (indicadas por los medidores $E1$ e $I1$ en la ventana **Aparatos de medición**).

26. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, asegúrese de que el parámetro **Par** esté en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg).

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido) y la perilla de control de tensión de modo que la tensión del inducido E_A (indicada por el medidor $E1$ en la ventana **Aparatos de medición**) sea igual al valor registrado en el paso 22 del ejercicio anterior. El motor debería empezar a rotar.

27. Observe y registre el valor del par motor T indicado por el medidor **Par** en el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.

Par motor T (mínimo) = _____ N·m (lbf·pulg.)

28. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** con el valor mínimo medido en el paso 27. Registre en la **Tabla de datos** la velocidad de rotación n y el par T del motor, así como la tensión del inducido E_A y la corriente del inducido I_A del motor.

Incremente el parámetro **Par** del valor mínimo a unos 2,3 N·m (alrededor de 20,3 lbf·pulg.) en etapas de 0,2 N·m (o 2,0 lbf·pulg.). Para cada configuración de par, vuelva a ajustar la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** de modo que la tensión del inducido E_A sea igual al valor configurado en el paso anterior, espere a que se establezca la velocidad del motor y luego registre en la **Tabla de datos** la velocidad de rotación n y el par T , así como la tensión del inducido E_A y la corriente del inducido I_A del motor.



Tal vez no sea posible mantener la tensión del inducido E_A en su valor original, dado que aumenta el par T .

ATENCIÓN

Es posible que la corriente del inducido I_A supere el valor nominal mientras se realiza este ajuste, por lo que es preciso hacerlo en menos de 5 minutos.

29. Cuando se hayan registrado todos los datos, detenga el **Motor/generador cc** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos y guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT223 y si desea, imprímala.

30. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la velocidad n del motor serie en función del par T del motor serie. Titule el gráfico "G223", denomine el eje x "Par motor" y el eje y "Velocidad del motor", y si desea, imprima el gráfico.

Describa brevemente la forma en que varía la velocidad cuando aumenta la carga mecánica que se aplica al motor serie, es decir, cuando el par motor lo hace.

Compare las características de la relación entre la velocidad y el par del motor serie (gráfico G223) con las del motor cc con excitación independiente (G212-2 obtenido en el ejercicio anterior).



Si desea realizar los experimentos adicionales, omita el próximo paso y vuelva al mismo una vez que haya terminado todas las etapas adicionales.

31. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal se encuentre en la posición **O** (apagado) y luego apague la fuente de energía ca de 24 V. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Apague el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Desconecte todos los cables y guárdelos.

Experimentos adicionales (optativo)

Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor shunt

Puede obtener las características de la relación entre la velocidad y el par de un motor shunt y compararlas con las que obtuvo para el motor cc con excitación independiente y el motor serie. Para ello, asegúrese de que la **Fuente de alimentación** esté apagada [perilla de control de tensión en 0% e interruptor principal en la posición **O** (apagado)] y conecte el circuito del motor shunt como se muestra en la figura 2-24. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, asegúrese de que el parámetro **Par** esté en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.). Encienda la **Fuente de alimentación** [ajuste el interruptor principal en la posición **I** (encendido)] y luego ajuste la perilla de control de tensión de modo que la tensión del inducido E_A sea igual al valor registrado en el paso 22 del ejercicio anterior. En el **Motor/generador cc**, ajuste la perilla **Reóstato de campo** de modo que la corriente de campo I_f sea igual al valor indicado en la tabla 2-1. Borre los datos guardados en la tabla de datos. Consulte los pasos 27 a 30 de este ejercicio para registrar los datos necesarios y obtener el gráfico. Para cada configuración de par en el paso 27, reajuste la corriente de campo para mantenerla de acuerdo al valor de la tabla 2-1. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT224 y titule el gráfico "G224". Compare las características de la relación entre la velocidad y el par del motor shunt (gráfico G224) con las del motor cc con excitación independiente (G212-2 obtenido en el ejercicio anterior) y el motor serie (gráfico G223).

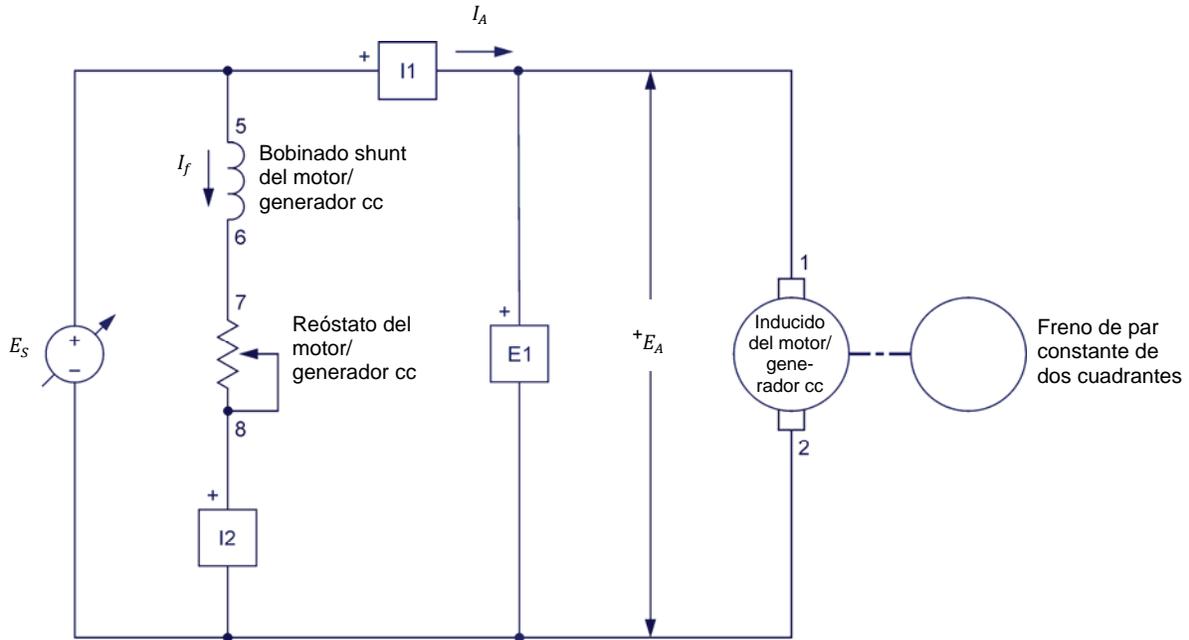


Figura 2-24. Circuito de motor shunt.

Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor compound acumulativo

Puede obtener las características de la relación entre la velocidad y el par de un motor compound acumulativo y compararlas con las que obtuvo para los otros motores cc. Para ello, asegúrese de que la **Fuente de alimentación** esté apagada [perilla de control de tensión en 0% e interruptor principal en la posición **O** (apagado)] y conecte el circuito del motor compound acumulativo como se muestra en la figura 2-25. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, asegúrese de que el parámetro **Par** esté en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.). Encienda la **Fuente de alimentación** [ajuste el interruptor principal en la posición **I** (encendido)] y luego ajuste la perilla de control de tensión de modo que la tensión del inducido E_A sea igual al valor registrado en el paso 22 del ejercicio anterior. En el **Motor/generador cc**, ajuste la perilla **Reóstato de campo** de modo que la corriente de campo I_f sea igual al valor indicado en la tabla 2-1. Borre los datos guardados en la **Tabla de datos**. Consulte los pasos 27 a 30 de este ejercicio para registrar los datos necesarios y obtener el gráfico. Para cada configuración de par en el paso 27, reajuste la corriente de campo para mantenerla de acuerdo al valor de la tabla 2-1. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT225 y titule el gráfico obtenido "G225". Compare las características de la relación entre la velocidad y el par del motor compound acumulativo (gráfico G225) con las de los otros motores cc (gráficos G212-2, G223 y G224).

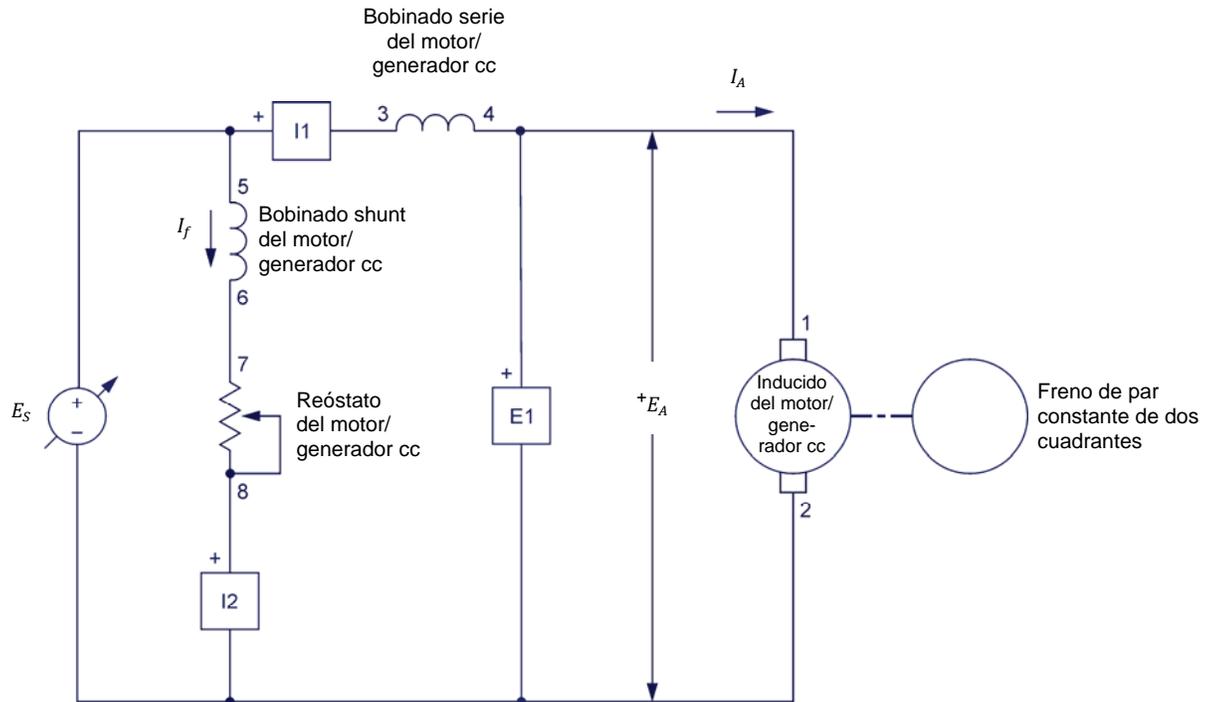


Figura 2-25. Circuito de un motor compound acumulativo.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted observó que, al disminuir la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente por debajo de su valor nominal, aumenta la constante K_1 , pero disminuye la constante K_2 . Observó que esto permite que el motor rote a velocidades más elevadas sin exceder la tensión nominal del inducido, aunque se reduce el par que puede desarrollar el motor sin exceder la corriente nominal del inducido. También aprendió que es posible aumentar la corriente de campo por encima de su valor nominal por breves intervalos de tiempo para mejorar el par de arranque. Asimismo, graficó las características de la relación entre la velocidad y el par de un motor serie y las comparó con las del motor cc con excitación independiente obtenidas en el ejercicio anterior. También observó que, cuando aumenta el par, la velocidad de un motor serie se reduce más rápidamente que la de un motor cc con excitación independiente. Además, observó que las características de la relación entre la velocidad y el par del motor cc con excitación independiente son lineales, mientras que las del motor serie no lo son.

Si llevó a cabo los experimentos adicionales, usted graficó las características de la relación entre la velocidad y el par de un motor shunt y un motor compound acumulativo. Comparó esas características con las obtenidas con el motor cc con excitación independiente y el motor serie. Descubrió que las características de un motor shunt son muy similares a las de un motor cc con excitación independiente. Notó que un motor compound acumulativo combina las características del motor cc con excitación independiente y el motor serie.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es el efecto de la disminución de la corriente de campo por debajo de su valor nominal en las características de la relación entre la velocidad y la tensión de un motor cc con excitación independiente?

2. ¿Cuál es el efecto de la disminución de la corriente de campo por debajo de su valor nominal en las características de la relación entre el par y la corriente de un motor cc con excitación independiente?

3. ¿Qué ventaja tiene aumentar la corriente de campo por encima de su valor nominal por breves intervalos de tiempo al hacer arrancar un motor cc con excitación independiente?

4. ¿Aumenta o disminuye la velocidad de un motor shunt cuando aumenta la corriente del inducido?

5. ¿Qué ventaja tiene disminuir la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente por debajo de su valor nominal?

Generadores cc con excitación independiente, shunt y compound

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al completar este ejercicio, usted podrá demostrar las principales características de funcionamiento de los generadores cc con excitación independiente, shunt y compound con el motor/generador cc.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio abarcan los siguientes puntos:

- Introducción a los generadores cc
- Generador cc con excitación independiente
- Generador cc autoexcitado
- Características de la relación entre la tensión y la corriente de diversos generadores cc

PRINCIPIOS

Introducción a los generadores cc

Aunque en la actualidad es poco frecuente el uso de generadores cc, es importante conocer su funcionamiento para comprender la forma en que se puede usar un motor cc con excitación independiente como freno eléctrico en los controladores modernos de motores cc.

Usted ya vio en esta unidad que se puede considerar que un motor cc es un convertidor lineal de tensión a velocidad. Este proceso de conversión lineal es reversible, es decir, cuando una fuerza impulsora externa aplica una velocidad fija al motor, el motor produce una tensión de salida E_o y, por lo tanto, funciona como convertidor lineal de velocidad a tensión, es decir, como generador cc. En la figura 2-26 se representa un motor cc que funciona como generador cc.

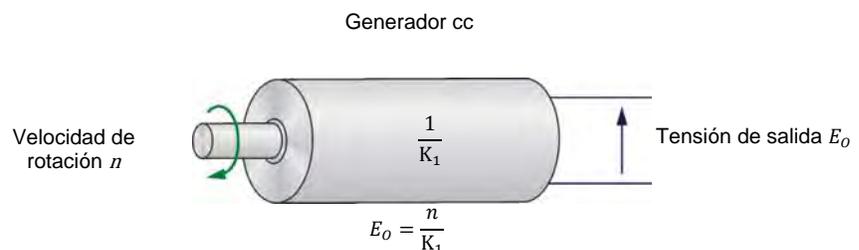


Figura 2-26. Motor cc como convertidor de velocidad a tensión (generador cc).

La relación lineal entre el par y la corriente en el motor cc también es reversible y se aplica al generador cc, es decir, es preciso aplicar un par al eje del generador para obtener cierta corriente de salida. En la figura 2-27 se representa un motor cc que funciona como convertidor lineal de par a corriente, es decir, un generador cc.

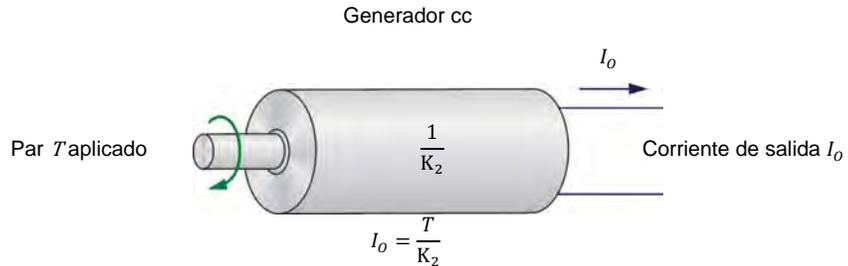


Figura 2-27. Motor cc como convertidor de par a corriente (generador cc).

Generador cc con excitación independiente

La figura 2-28(a) muestra la relación entre la tensión de salida y la velocidad de un **generador cc con excitación independiente**. La figura 2-28(b) muestra la relación entre la corriente de salida y el par aplicado de un generador cc con excitación independiente. Observe que las pendientes de esas relaciones lineales equivalen al inverso de las constantes K_1 y K_2 .

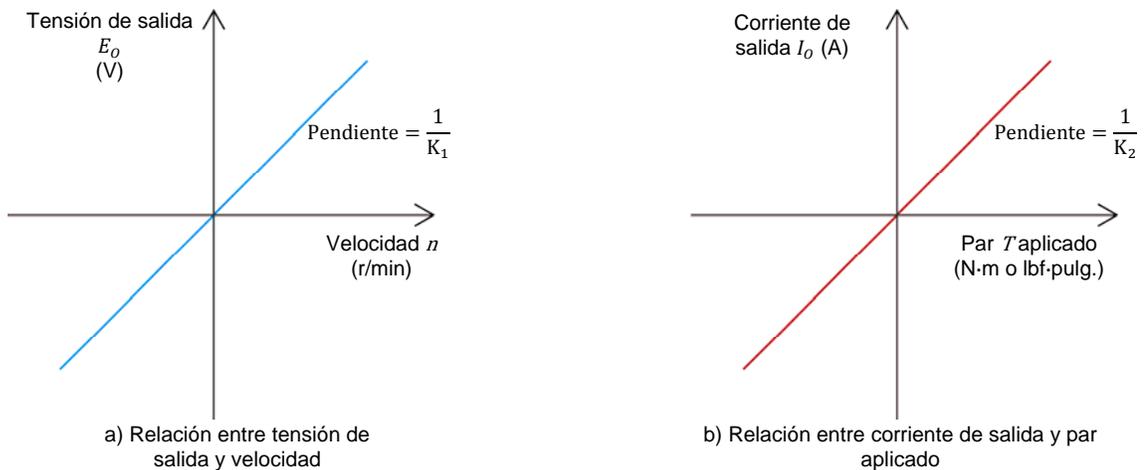


Figura 2-28. Relaciones entre la entrada y la salida de un generador cc con excitación independiente.

De un modo similar al de un motor cc con excitación independiente, es posible variar la corriente de campo I_f de un generador cc con excitación independiente para cambiar la fuerza del electroimán de campo y por consiguiente, el valor relativo de las constantes K_1 y K_2 . Cuando se reduce la corriente de campo, aumenta la constante K_1 y disminuye K_2 , al igual que en un motor cc con excitación independiente. En consecuencia, la pendiente de la relación entre la tensión de salida y la velocidad se reduce, mientras que la pendiente de la relación entre la corriente de salida y el par aumenta. Por el contrario, cuando la corriente de campo aumenta, la constante K_1 disminuye y K_2 aumenta, así, la pendiente de la relación entre la tensión de salida y la velocidad aumenta, mientras que se reduce la pendiente de la relación entre la corriente de salida y el par. Por lo tanto, se puede modificar la tensión de salida E_o de un generador que funciona a velocidad fija al hacer variar la corriente de campo I_f . Esto produce el equivalente de una fuente de energía cc cuya tensión de salida se puede controlar haciendo variar la corriente de campo I_f . En la figura 2-29 se representa la variación de la tensión de salida E_o en un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija, cuando varía la corriente de campo I_f de cero a su valor nominal.

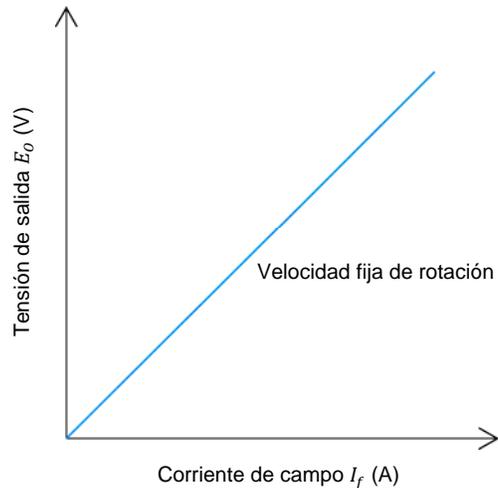


Figura 2-29. Características de la relación entre la tensión de salida E_o y la corriente de campo I_f en un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija.

En la figura 2-30 se muestra un circuito eléctrico equivalente simplificado de un generador cc con excitación independiente. Es igual al del motor cc, pero la dirección del flujo de corriente está invertida y la tensión E_{CEMF} se transforma en E_{EMF} , que es la tensión inducida a través del bobinado del inducido cuando este rota en el flujo magnético producido por el electroimán del estátor. Cuando no hay carga conectada a la salida del generador cc, la corriente de salida I_o es cero y la tensión de salida E_o equivale a E_{EMF} .

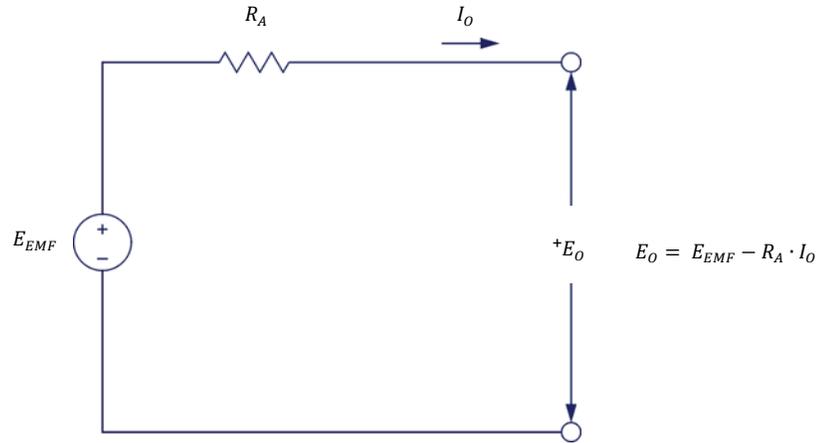


Figura 2-30. Circuito equivalente simplificado de un generador cc.

En el primer ejercicio de esta unidad, usted observó que, cuando se aplica una tensión fija del inducido E_A a un motor cc con excitación independiente, disminuye la velocidad del motor con el aumento de la corriente del inducido I_A . Descubrió que esta disminución de la velocidad se debe a la resistencia del inducido R_A . De modo similar, cuando el mismo motor funciona como generador y a una velocidad fija, la resistencia del inducido hace disminuir la tensión de salida E_o cuando aumenta la corriente de salida, como se muestra en la figura 2-31.

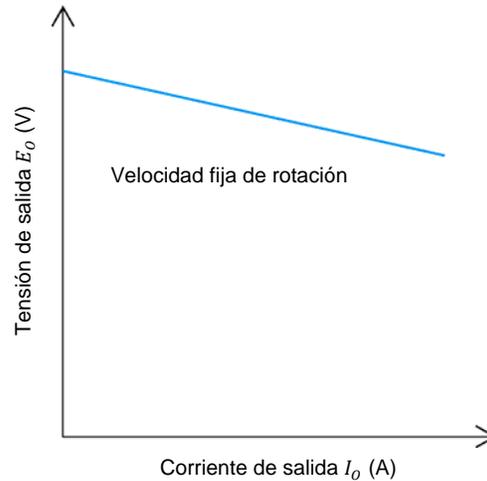


Figura 2-31. Características de la relación entre la tensión y la corriente de un generador cc con excitación independiente (velocidad fija).

Se puede utilizar la siguiente ecuación para calcular la tensión de salida E_O :

$$E_O = E_{EMF} - R_A \cdot I_O \quad (2-4)$$

- donde E_O es la tensión de salida del generador cc expresada en voltios (V).
 E_{EMF} es la tensión inducida a través del bobinado del inducido, expresada en voltios (V).
 R_A es la resistencia del inducido, expresada en ohmios (Ω).
 I_O es la corriente de salida del generador cc, expresada en amperes (A).

Generador cc autoexcitado

El generador cc con excitación independiente ofrece flexibilidad de uso, porque es posible cambiar sus características modificando la corriente de campo. Sin embargo, se necesita una fuente de energía cc independiente para excitar el electroimán de campo. Esto era una desventaja cuando se empezaron a usar los generadores cc, porque no era común contar con fuentes de alimentación cc en ese momento. Por lo tanto, se diseñaron generadores cc que funcionan sin fuente de energía cc. A este tipo de generador se lo llama **generador cc autoexcitado**.

En un generador cc autoexcitado, el electroimán de campo es un bobinado shunt conectado a través de la salida del generador (generador shunt) o una combinación de un bobinado shunt conectado a través de la salida del generador y un bobinado serie conectado en serie con la salida del generador (generador compound). La tensión de salida y/o la corriente del generador excita(n) (el)los electroimán(es) de campo. La forma de configurar el electroimán de campo (shunt o compound) determina muchas de las características del generador.

La autoexcitación es posible debido al magnetismo residual de los polos del estátor. Cuando rota el inducido, se induce una baja tensión a través de su bobinado y fluye una corriente de baja intensidad por el bobinado del campo shunt. Si esta corriente de campo de baja intensidad fluye en la dirección correcta, el magnetismo residual se ve reforzado, lo que incrementa aún más la tensión del inducido. Así, se produce un rápido cebado en tensión. Si la corriente de campo fluye en la dirección equivocada, el magnetismo residual se reduce y no se puede producir el cebado en tensión. En este caso, si se invierten las conexiones del bobinado del campo shunt, se corrige la situación.

En un generador cc autoexcitado, la tensión de salida tras el cebado puede tener una polaridad inversa a la necesaria. Es posible corregir esto deteniendo el generador y estableciendo la polaridad del magnetismo residual. Para configurar el magnetismo residual, se conecta una fuente de energía cc al bobinado del campo shunt para forzar a la corriente nominal a fluir en la dirección correcta. Si se interrumpe abruptamente la corriente, la polaridad de los polos magnéticos se establece en el bobinado del campo shunt. Cuando se hace arrancar nuevamente el generador, se produce el cebado en tensión con la polaridad adecuada.

Características de la relación entre la tensión y la corriente de diversos generadores cc

La es un gráfico en el que se representan las características de la relación entre la tensión y la corriente de diversos tipos de generador cc. Como puede observarse, el generador cc con excitación independiente y el generador shunt tienen características muy similares. La diferencia radica en que, con el aumento de la corriente de salida, la tensión de salida del generador shunt disminuye un poco más que la del generador cc con excitación independiente. En ambos casos, la tensión de salida disminuye porque la caída de tensión a través del resistor del inducido aumenta cuando se incrementa la corriente de salida. En el generador shunt, la tensión a través del bobinado del campo shunt y, por lo tanto, la corriente de campo, disminuyen cuando se reduce la tensión de salida. Esto hace que se reduzca un poco más la tensión de salida.

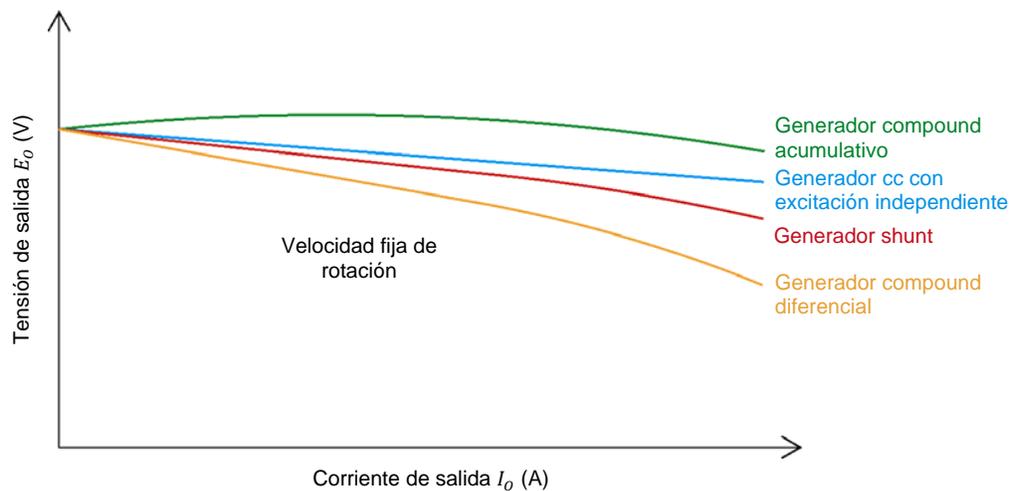


Figura 2-32. Características de la relación entre la tensión y la corriente de diversos generadores cc.

Es posible compensar la variación de la tensión de salida cambiando automáticamente el flujo magnético producido por el electroimán de campo cuando varía la corriente de salida. Se pueden conectar los bobinados shunt y serie de un generador compound de modo que el flujo magnético aumente cuando lo hace la corriente de salida. Así, la tensión de salida permanece relativamente constante y varía muy poco cuando aumenta la corriente de salida, como se muestra en la figura 2-32. Este tipo de conexión da como resultado un generador compound acumulativo, porque se acumulan los flujos magnéticos generados por los dos bobinados de campo. Para otras aplicaciones en que es necesario que la tensión de salida disminuya rápidamente cuando aumenta la corriente de salida, se pueden conectar los bobinados shunt y serie de modo que el flujo magnético de uno se reste del flujo del otro, lo que produce un generador compound diferencial.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento se divide en las siguientes secciones:

- Instalación y conexiones
- Características de la relación entre la tensión de salida y la velocidad de un generador cc con excitación independiente
- Características de la relación entre la corriente de salida y el par de un motor cc con excitación independiente
- Características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de campo de un generador cc con excitación independiente
- Características de la relación entre la tensión y la corriente de salida en un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija
- Experimentos adicionales (optativo)
 - Características de la relación entre la tensión y la corriente de salida en un generador shunt que funciona a velocidad fija. Características de la relación entre la tensión y la corriente en un generador compound acumulativo que funciona a velocidad fija. Características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida en un generador compound diferencial que funciona a velocidad fija.*

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones elevadas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana sin apagar la fuente de alimentación, a menos que se especifique lo contrario.

Instalación y conexiones

En esta sección usted acoplará mecánicamente el motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes e instalará el equipo.

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo del Apéndice A para conocer la lista de equipos necesarios para este ejercicio. Instale el equipo en el **Puesto de trabajo**.



*Antes de empezar el ejercicio, verifique que las escobillas del **Motor/generador cc** estén en el punto neutro. Conecte una fuente de energía ca de tensión variable (terminales 4 y N de la **Fuente de alimentación**) al inducido del **Motor/generador cc** (terminales 1 y 2) a través de la entrada de corriente I1 de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**. Conecte el bobinado shunt del **Motor/generador cc** (terminales 5 y 6) a la entrada de tensión E1 de la DACI. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Aparatos de medición**. Configure dos medidores para calcular el valor eficaz (ca) de la tensión del inducido E_A y de la corriente del inducido I_A en las entradas E1 e I1 de la DACI, respectivamente. Encienda la **Fuente de alimentación** y ajuste la perilla de control de tensión de modo que la corriente ca (indicada por el medidor I1 en la ventana **Aparatos de medición**) sea igual a la mitad de la corriente nominal del inducido que circula en el inducido del **Motor/generador cc**. Ajuste la palanca de control de la escobilla del **Motor/generador cc** de modo que sea mínima la tensión que circula a través del bobinado shunt (indicada por el medidor E1 en la ventana **Aparatos de medición**). Apague la **Fuente de alimentación**, cierre el software **LVDAC-EMS** y desconecte todos los cables.*

Acople mecánicamente el **Motor/generador cc** al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** mediante una correa de distribución.



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

2. Asegúrese de que el interruptor principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** se encuentre en la posición **O** (apagado), luego conecte la **Entrada de potencia** a una salida de energía ca de la pared.
3. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal y el de energía ca de 24 V se encuentren en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión indique 0% (girada completamente en sentido antihorario). Conecte la **Fuente de alimentación** a una salida de energía ca trifásica.
4. Conecte la **Entrada de potencia** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)** a la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

Encienda la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

5. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** a un puerto USB de la computadora.

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 2-33. Use la salida de tensión cc fija de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión fija. **E1** e **I2** son entradas de tensión y corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**. Cabe señalar que no hay carga eléctrica conectada a la salida del generador.

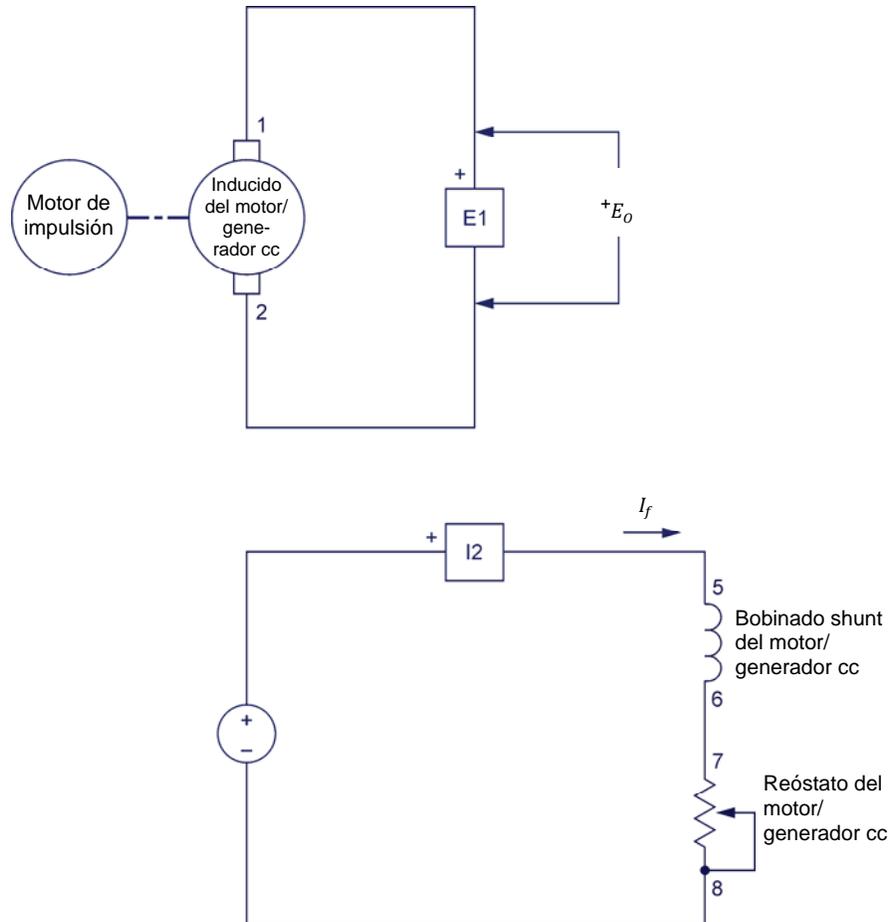


Figura 2-33. Generador cc con excitación independiente acoplado a un motor de impulsión (sin carga eléctrica).

7. En el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el interruptor *Modo de operación* en posición *Dinamómetro*. Esta configuración permite que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como motor de impulsión, freno o ambos, según la función seleccionada.

Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

8. Encienda la computadora y ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS** asegúrese de que se hayan detectado la **Interfaz de adquisición de datos y de control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Asegúrese de que la función **Instrumentación informatizada** esté disponible para dicha interfaz. Asimismo, seleccione la tensión y frecuencia la red eléctrica ca local, luego haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.

9. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) y luego realice las siguientes configuraciones:
- Ajuste el parámetro *Función* en *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*. Esta configuración hace que el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) funcione como un freno/motor de impulsión en sentido horario a una velocidad que corresponde al parámetro *Velocidad*.
 - Ajuste el parámetro *Relación de la polea* la opción 24:24. Las cifras primera y segunda de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) y la cantidad de dientes de la polea de la máquina que se prueba (es decir, el [Motor/generador cc](#)), respectivamente.
 - Asegúrese de que el parámetro *Control* de *Velocidad* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente la velocidad del motor de impulsión/freno en sentido horario.
 - Ajuste el parámetro *Velocidad* (es decir, el comando de velocidad) en 0 r/min. Cabe destacar que el comando de velocidad es la velocidad objetivo en el eje de la máquina acoplada al motor de impulsión, es decir, en este caso, la velocidad del [Motor/generador cc](#).



*También se puede configurar el comando de velocidad mediante la perilla *Velocidad* de la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#).*

10. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana [Aparatos de medición](#). Configure dos medidores para calcular la tensión de salida E_o ($E1$) y la corriente de campo I_f ($I2$) del generador cc.

Haga clic en el botón [Regeneración continua](#) para habilitar la actualización continua de los valores de los diversos medidores de la aplicación [Aparatos de medición](#).

Características de la relación entre la tensión de salida y la velocidad de un generador cc con excitación independiente

En esta sección usted configurará la corriente de campo del generador cc con excitación independiente al mismo valor que en el Ejercicio 2-1. Medirá valores y representará gráficamente la tensión de salida E_o del generador en función de la velocidad n cuando no hay carga eléctrica conectada a la salida del generador. También calculará la pendiente de la relación entre la tensión y la velocidad y la comparará con la constante K_1 determinada en el Ejercicio 2-1 cuando el motor/generador cc funcionaba como motor cc con excitación independiente.

11. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** arranque el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* haciendo clic en el botón *Marcha/Parada* o ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha*.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido).

12. En el **Motor/generador cc**, ajuste la perilla *Reóstato de campo* de modo que la corriente de campo I_f (medidor *I2*) del generador cc sea igual al valor indicado en la tabla 2-4 para su red eléctrica ca local.

Tabla 2-4. Corriente de campo I_f .

Red eléctrica ca local		Corriente de campo I_f (mA)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	300
220	50	190
240	50	210
220	60	190

13. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Tabla de datos**. Configure la **Tabla de datos** para registrar la tensión de salida E_o y la corriente de campo I_f del generador cc (indicadas por los medidores *E1* e *I2* en la ventana **Aparatos de medición**), así como la velocidad de rotación n y el par T del generador cc (indicados por los medidores *Velocidad* y *Par* en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**).
14. Aumente la velocidad del motor de impulsión de 0 a 1500 r/min en etapas de 150 r/min mediante el parámetro *Velocidad* de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Para cada configuración de velocidad, registre la tensión de salida E_o y la corriente de campo I_f del generador cc, así como la velocidad n y el par T del generador cc en la **Tabla de datos**.
15. Cuando se hayan registrado todos los datos, ajuste el parámetro *Velocidad* de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** en 0 r/min y luego haga clic en el botón *Marcha/Parada* de esa ventana para detener el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*.

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos, guarde el archivo de datos con el nombre DT231 y si desea, imprímalo.

16. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la tensión de salida E_o del generador cc en función de la velocidad n del generador cc. Titule el gráfico “G231”, denomine el eje x “Velocidad del generador cc” y el eje y “Tensión de salida del generador cc”, y si desea, imprima el gráfico.

¿Este gráfico confirma que el generador cc con excitación independiente es equivalente a un convertidor lineal de velocidad a tensión, en el cual una mayor velocidad produce una mayor tensión de salida?

Sí No

17. Use los dos puntos extremos para calcular la pendiente de la relación obtenida en el gráfico G231. Los valores de esos puntos se indican en la tabla de datos DT231.

$$\text{Pendiente} = \frac{E_2 - E_1}{n_2 - n_1} = \frac{\quad - \quad}{\quad - \quad} = \frac{\text{V}}{\text{r/min}}$$

Compare la pendiente de la relación entre la tensión de salida y la velocidad con la constante K_1 obtenida en el Ejercicio 2-1.

18. En la ventana **Tabla de datos**, borre los datos registrados.

Características de la relación entre la corriente de salida y el par de un motor cc con excitación independiente

En esta sección, usted conectará una carga eléctrica a la salida del generador. Medirá valores y representará gráficamente la corriente de salida I_o del generador cc con excitación independiente en función del par T aplicado al eje del generador, cuando el generador rota a velocidad fija. También calculará la pendiente de la relación entre la corriente y el par y la comparará con la constante K_2 determinada en el Ejercicio 2-1 cuando el motor/generador cc funcionaba como motor cc con excitación independiente.

19. Conecte un resistor de carga (R_1) en serie con un amperímetro cc ($I1$) a través de la salida del generador cc con excitación independiente, como se muestra en la figura 2-34. $I1$ es una entrada de corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**. Utilice el módulo **Carga resistiva** para implementar el resistor R_1 . Seleccione infinito (∞) como valor de resistencia de R_1 conectando las tres secciones de resistor del módulo **Carga resistiva** en paralelo y ajustando todos los conmutadores de palanca en la posición **O** (apagado). No modifique las demás conexiones.

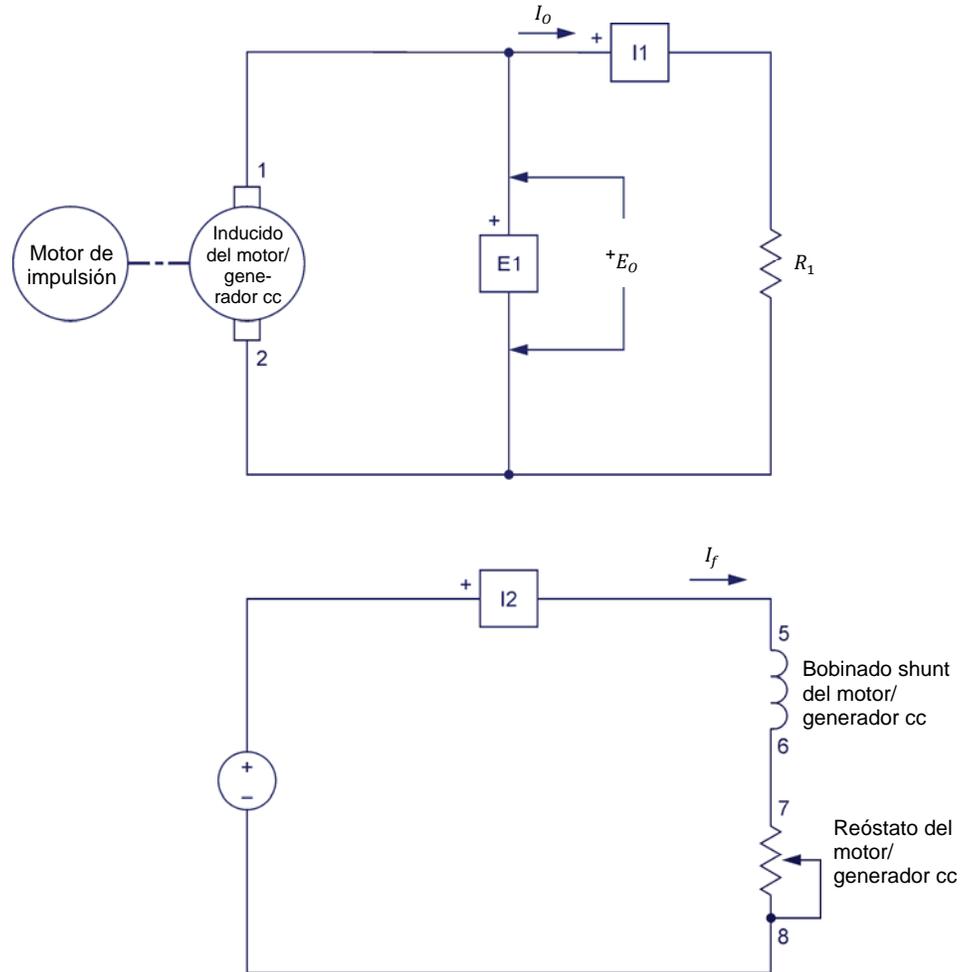


Figura 2-34. Generador cc con excitación independiente acoplado a un motor de impulsión (con carga eléctrica).

20. En la ventana **Aparatos de medición**, asegúrese de que los medidores estén configurados para calcular la tensión de salida E_o ($E1$), las corrientes de salida I_o ($I1$) y de campo I_f ($I2$) del generador cc. Verifique que la **Tabla de datos** esté lista para registrar la tensión de salida E_o , las corrientes de salida I_o y de campo I_f del generador cc, así como la velocidad de rotación n y el par T del generador cc.
21. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Velocidad** de modo que la velocidad del motor de impulsión sea igual a la velocidad nominal del **Motor/generador cc**. Arranque el **Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH** para hacer rotar el motor de impulsión.



El valor de la velocidad nominal del **Motor/generador cc** está indicado en la sección inferior del panel frontal.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido).

En el **Motor/generador cc**, reajuste levemente la perilla **Reóstato de campo**, si es necesario, de modo que la corriente de campo I_f indicada por el medidor **I2** siga siendo igual al valor indicado en la tabla 2-4 para su red eléctrica ca local.

- 22.** Registre en la **Tabla de datos** la tensión de salida E_o , las corrientes de salida I_o y de campo I_f del generador cc, así como la velocidad de rotación n y el par T .

Luego cambie la configuración del módulo **Carga resistiva** para disminuir la resistencia del resistor R_1 en etapas como se indica en la tabla 2-5 para su red eléctrica ca local. (En el Apéndice B de este manual se indica cómo obtener los diversos valores de resistencia que se muestran en la tabla 2-5). Para cada valor de resistencia, reajuste (si corresponde) el valor del parámetro **Velocidad** en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** de modo que la velocidad del motor de impulsión siga siendo igual a la velocidad nominal del **Motor/generador cc** y luego registre en la **Tabla de datos** la tensión de salida E_o , las corrientes de salida I_o y de campo I_f del generador cc, así como la velocidad de rotación n y el par T .

ATENCIÓN

La tensión de salida del generador cc superará la tensión nominal del módulo Carga resistiva, por lo que es preciso realizar este ajuste en menos de 5 minutos.

Tabla 2-5. Disminución del valor de resistencia de R_1 para cargar el generador cc.

Red eléctrica ca local		Valor de resistencia del resistor R_1 (Ω)							
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)								
120	60	1200	600	300	171	120	86	71	57
220	50	4400	2200	1100	629	440	314	259	210
240	50	4800	2400	1200	686	480	343	282	229
220	60	4400	2200	1100	629	440	314	259	210

- 23.** Cuando se hayan registrado todos los datos, ajuste el parámetro **Velocidad** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** en 0 r/min y luego haga clic en el botón **Marcha/Parada** de esa ventana para detener el **Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH**.

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos. Invierta la polaridad de los valores de par registrados en la Tabla de datos para obtener el par aplicado al eje del generador cc. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT232 y si desea, imprímala.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

24. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de la corriente de salida I_o del generador cc en función del par T aplicado al eje del generador. Titule el gráfico "G232", denomine el eje x "Par aplicado al eje del generador cc" y el eje y "Corriente de salida del generador cc" y si desea, imprima el gráfico.



El par no es cero cuando la corriente de salida del generador es cero porque se necesita aplicar algo de par para superar la oposición a la rotación causada por la fricción en el generador cc.

¿Este gráfico confirma que el generador cc con excitación independiente es equivalente a un convertidor de par a corriente, en el cual un mayor par produce una mayor corriente de salida?

Sí No

25. Use los dos puntos extremos para calcular la pendiente de la relación obtenida en el gráfico G232. Los valores de esos puntos se indican en la tabla de datos DT232.

$$\text{Pendiente} = \frac{I_2 - I_1}{T_2 - T_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{A}}{\text{N} \cdot \text{m} (\text{lbf} \cdot \text{pulg.})}$$

Compare la pendiente de la relación entre la corriente de salida y el par con la constante K_2 obtenida en el Ejercicio 2-1.

26. En la ventana **Tabla de datos**, borre los datos registrados.

Características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de campo de un generador cc con excitación independiente

En esta sección usted modificará la corriente de campo I_f del generador cc con excitación independiente y observará de qué modo se ve afectada la tensión de salida.

27. En el módulo Carga resistiva, defina para la resistencia del resistor R_1 el valor que figura en la tabla 2-6.

Tabla 2-6. Valor de resistencia a definir para R_1 .

Red eléctrica ca local		Valor de la resistencia del resistor R_1 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

28. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, defina como parámetro *Velocidad* el valor de la velocidad nominal del *Motor/generador cc*. Arranque el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* para hacer rotar el motor de impulsión.

Encienda la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

En el *Motor/generador cc*, reajuste la perilla *Reóstato de campo*, si es necesario, de modo que la corriente de campo I_f (medidor *I2*) siga siendo igual al valor indicado en la tabla 2-4 para su red eléctrica ca local. Observe y registre la tensión de salida E_o (medidor *E1*) y la corriente de campo I_f (medidor *I2*) del generador cc.

$$E_o = \text{_____ V}$$

$$I_f = \text{_____ A}$$

29. En el *Motor/generador cc*, gire lentamente y por completo la perilla *Reóstato de campo* en sentido horario de modo que aumente la corriente de campo I_f (medidor *I2*). Mientras lo hace, observe la tensión de salida E_o (medidor *E1*) del generador cc.

ATENCIÓN

Cuando realice este ajuste, la tensión de salida del generador cc superará la tensión nominal del módulo Carga resistiva, por lo que es preciso llevarlo a cabo en 1 minuto, como máximo.

Observe y registre la tensión de salida E_o (medidor *E1*) y la corriente de campo I_f (medidor *I2*) del generador cc.

$$E_o = \text{_____ V}$$

$$I_f = \text{_____ A}$$

En el **Motor/generador cc**, ajuste la perilla *Reóstato de campo* en la posición media.

Describa lo que ocurre con la tensión de salida E_o del generador cc cuando aumenta la corriente de campo I_f .

- 30.** En el **Motor/generador cc**, gire lentamente y por completo la perilla *Reóstato de campo* en sentido antihorario de modo que disminuya la corriente de campo I_f (medidor *I2*). Mientras lo hace, observe la tensión de salida E_o (medidor *E1*) del generador cc.

Observe y registre la tensión de salida E_o (medidor *E1*) y la corriente de campo I_f (medidor *I2*) del generador cc.

$E_o = \underline{\hspace{2cm}}$ V

$I_f = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Describa lo que ocurre con la tensión de salida E_o del generador cc cuando disminuye la corriente de campo I_f .

Un generador cc con excitación independiente, ¿es equivalente a una fuente de energía cc con tensión de salida variable?

Sí No

- 31.** Ajuste el parámetro *Velocidad* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* en 0 r/min y luego haga clic en el botón *Marcha/Parada* de esa ventana para detener el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*.

Apague la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la *Fuente de alimentación*).

Características de la relación entre la tensión y la corriente de salida en un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija

En esta sección, usted empleará los datos obtenidos anteriormente para representar gráficamente la tensión de salida del generador cc en función de la corriente de salida del generador cc para una velocidad fija.

32. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico de tensión de salida E_o del generador cc con excitación independiente en función de la corriente de salida I_o del generador cc empleando los datos registrados previamente en la tabla de datos (DT232). Titule el gráfico "G232-1", denomine el eje x "Corriente de salida del generador cc" y el eje y "Tensión de salida del generador cc", y si desea, imprima el gráfico.

Describa cómo varía la tensión de salida E_o del generador cc cuando aumenta la corriente de salida I_o .



Si desea realizar los experimentos adicionales, omita el próximo paso y vuelva al mismo una vez que haya terminados todas las etapas adicionales.

33. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal se encuentre en la posición **O** (apagado) y luego apague la fuente de energía ca de 24 V. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Apague el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Desconecte todos los cables y guárdelos.

Experimentos adicionales (optativo)

Características de la relación entre la tensión y la corriente de salida en un generador shunt que funciona a velocidad fija

Puede obtener las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida de un generador shunt y compararlas con las que obtuvo para el generador cc con excitación independiente. Para ello, asegúrese de que la **Fuente de alimentación** esté apagada [perilla de control de tensión en 0% e interruptor principal en la posición **O** (apagado)] y conecte la salida de tensión cc fija (terminales **8** y **M**) de la **Fuente de alimentación** con el bobinado shunt (terminales **5** y **6**) del **Motor/generador cc**. En la **Fuente de alimentación**, ajuste el interruptor principal en la posición **I** (encendido) y luego en la posición **O** (apagado). Con esto se establece la polaridad del magnetismo residual. Configure el circuito del generador shunt como se muestra en la figura 2-35. Ajuste la perilla **Reóstato de campo** en la posición 0- Ω (gírela completamente en sentido horario). Ajuste provisoriamente el valor de resistencia de R_1 en infinito (∞).

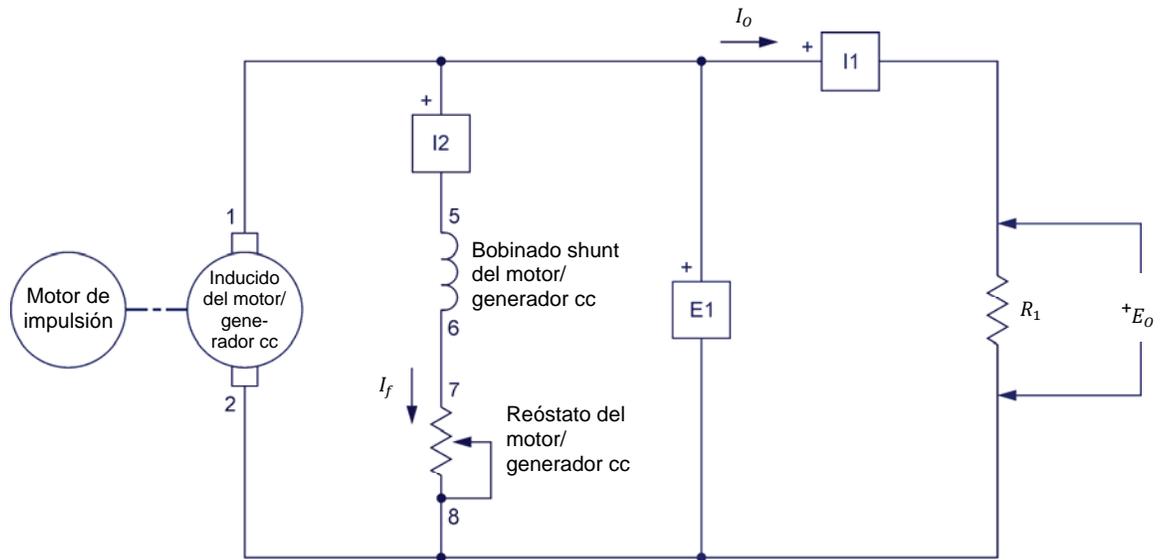


Figura 2-35. Generador shunt acoplado a un motor de impulsión (con carga eléctrica).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro *Velocidad* de modo que la velocidad del motor de impulsión sea igual a la velocidad nominal del **Motor/generador cc**. Arranque el **Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH** para hacer rotar el motor de impulsión. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido). En el **Motor/generador cc**, reajuste levemente la perilla **Reóstato de campo**, si es necesario, de modo que la corriente de campo I_f sea igual al valor indicado en la tabla 2-4 para su red eléctrica ca local. Borre los datos guardados en la **Tabla de datos**. Consulte los pasos 22 y 23 de este ejercicio para registrar los datos necesarios y guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT233. Consulte el paso 32 para obtener el gráfico y titule el gráfico "G233". Compare las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador shunt (gráfico G233) con las del generador cc con excitación independiente (gráfico G232-1).



La tensión de salida del generador shunt disminuye rápidamente con el aumento de la corriente de salida I_o porque la resistencia del inducido del **Motor/generador cc** es bastante elevada. Esto también se debe a otro fenómeno denominado "reacción de inducido". Este fenómeno se describe en la próxima unidad de este manual.

Características de la relación entre la tensión y la corriente en un generador compound acumulativo que funciona a velocidad fija

Usted puede obtener las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida de un generador compound acumulativo y compararlas con las que obtuvo para el generador cc con excitación independiente. Para hacerlo, realice los mismos ajustes que hizo para obtener las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador shunt y utilice el circuito del generador compound acumulativo que se muestra en la figura 2-36. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT234 y titule el gráfico "G234". Compare las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador compound acumulativo (gráfico G234) con las del generador cc con excitación independiente (gráfico G232-1) y el generador shunt (gráfico G233) obtenidas previamente.

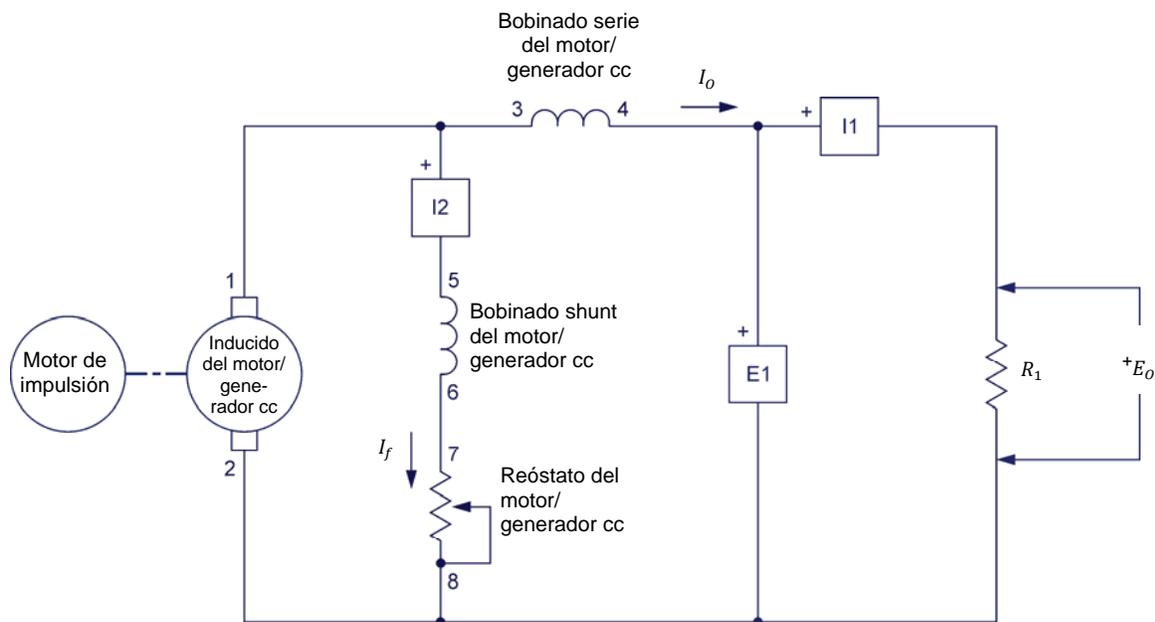


Figura 2-36. Generador compound acumulativo acoplado a un motor de impulsión (con carga eléctrica).

Características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida en un generador compound diferencial que funciona a velocidad fija

Usted puede obtener las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida de un generador compound diferencial y compararlas con las que obtuvo para el generador cc con excitación independiente. Para hacerlo, realice los mismos ajustes que hizo para obtener las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador shunt y utilice el circuito del generador compound diferencial que se muestra en la figura 2-37. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT235 y titule el gráfico "G235". Compare las características de la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador compound diferencial (gráfico G235) con aquellas obtenidas con otros tipos de generador cc (gráficos G232-1, G233 y G234).

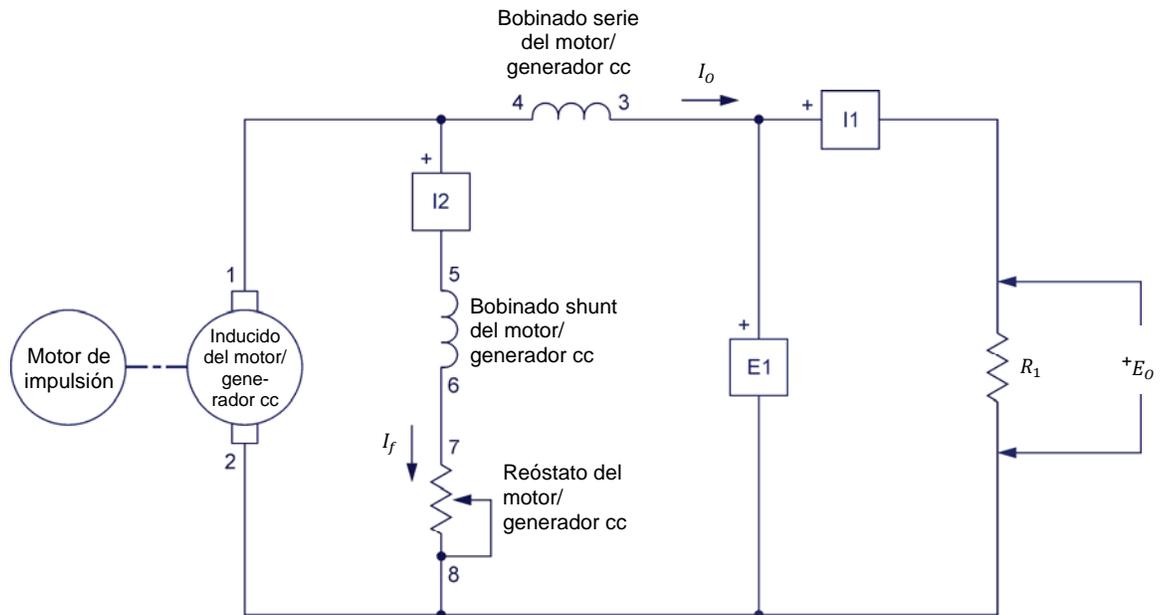


Figura 2-37. Generador compound diferencial acoplado a un motor de impulsión (con carga eléctrica).

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted representó gráficamente las principales características de un generador cc con excitación independiente. Observó que la tensión de salida aumenta en forma lineal con la variación de la velocidad. Observó también que la corriente de salida aumenta en forma lineal con la variación del par motor. Descubrió que la pendiente de la relación entre la tensión de salida y la velocidad equivale al inverso de la constante K_1 y que la pendiente de la relación entre la corriente de salida y el par equivale al inverso de la constante K_2 . Notó que es posible cambiar las constantes K_1 y K_2 cambiando la corriente de campo y que esto permite modificar la tensión de salida. Observó que disminuye la tensión de salida cuando aumenta la corriente de salida.

Si llevó a cabo los experimentos adicionales, usted graficó las características de la relación entre la tensión y la corriente de los generadores shunt, compound acumulativo y compound diferencial. Comparó las diversas características de la relación entre la tensión y la corriente de ese ejercicio. Observó que, con el aumento de la corriente de salida, la tensión de salida del generador shunt

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

disminuye más rápidamente que la del generador cc con excitación independiente. También observó que es poco lo que varía la tensión de salida de un generador compound acumulativo cuando varía la corriente de salida. Por último, notó que, con el aumento de la corriente de salida, la tensión de salida de un generador compound diferencial disminuye más rápidamente que la de los generadores con excitación independiente y shunt.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es el efecto de la disminución de la corriente de campo en la tensión de salida de un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija?

2. ¿Cuál es el efecto del aumento de la corriente de salida en el par motor de un generador cc con excitación independiente?

3. ¿Cuál es la característica principal de un generador compound acumulativo?

4. ¿Cuál es la característica principal de un generador compound diferencial?

5. ¿Qué ocurre cuando aumenta la corriente de campo de un generador cc con excitación independiente y se mantiene constante la velocidad?

Examen de la unidad

1. El rotor o inducido de un motor cc consta de
 - a. un cilindro de hierro y bobinados.
 - b. un cilindro de hierro, bobinados y escobillas.
 - c. un cilindro de hierro, bobinados y un colector.
 - d. un cilindro de hierro, bobinados, un colector y una fuente de energía cc.
2. El principio básico de funcionamiento de un motor cc es la creación de
 - a. un electroimán.
 - b. un electroimán rotatorio dentro del inducido.
 - c. un electroimán fijo dentro del inducido.
 - d. un electroimán rotatorio en el estátor.
3. La velocidad n de un motor cc con excitación independiente es igual a
 - a. $K_2 \cdot E_{CEMF}$
 - b. $K_1 \cdot I_A$
 - c. $K_1 \cdot E_{CEMF} \times I_A$
 - d. $K_1 \cdot E_{CEMF}$
4. Un motor cc con excitación independiente tiene una resistencia del inducido R_A y unas constantes K_1 y K_2 de $0,2 \Omega$, 8 r/min/V y $0,8 \text{ N}\cdot\text{m/A}$ ($7,08 \text{ lbf}\cdot\text{pulg./A}$), respectivamente. ¿Cuál es el valor de la velocidad n y el par T de ese motor, si se sabe que la tensión del inducido E_A y la corriente I_A son de 300 V y 100 A , respectivamente?
 - a. $n = 2400 \text{ r/min}$, $T = 80 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($708 \text{ lbf}\cdot\text{pulg.}$)
 - b. $n = 2240 \text{ r/min}$, $T = 800 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($7080 \text{ lbf}\cdot\text{pulg.}$)
 - c. $n = 2240 \text{ r/min}$, $T = 80 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($708 \text{ lbf}\cdot\text{pulg.}$)
 - d. $n = 2400 \text{ r/min}$, $T = 240 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($2124 \text{ lbf}\cdot\text{pulg.}$)
5. Se modifica la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente que funciona con una tensión fija del inducido y una carga mecánica fija. Esto causa un aumento de la velocidad. La corriente de campo ha
 - a. disminuido.
 - b. aumentado.
 - c. esto no es posible porque la velocidad es independiente de la corriente de campo.
 - d. ninguna de las respuestas anteriores.

6. Cuando aumenta la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente,
- las constantes K_1 y K_2 disminuyen.
 - la constante K_1 disminuye y la constante K_2 aumenta.
 - la constante K_1 aumenta y la constante K_2 disminuye.
 - las constantes K_1 y K_2 aumentan.
7. La velocidad de un motor cc con excitación independiente
- aumenta de forma lineal cuando aumenta el par motor.
 - disminuye de forma lineal cuando aumenta el par motor.
 - permanece constante cuando aumenta el par motor.
 - disminuye de forma rápida y no lineal cuando aumenta el par motor.
8. En un motor serie, el electroimán de campo consta de
- un bobinado conectado en paralelo con el inducido.
 - un bobinado conectado en paralelo con el inducido y otro bobinado conectado en serie con el inducido.
 - un bobinado conectado en serie con el inducido.
 - un bobinado conectado en serie con una fuente de energía cc independiente.
9. La tensión inducida en un generador cc con excitación independiente (E_{EMF}) que rota a una velocidad fija de 1600 r/min es de 600 V. Esto hace que una corriente de 400 A fluya en la carga eléctrica conectada a través del generador cc. ¿Cuál es la tensión de salida E_o del generador, si se sabe que la resistencia de su inducido es de $0,15\Omega$?
- $E_o = 360$ V
 - $E_o = 540$ V
 - $E_o = 600$ V
 - $E_o = 200$ V
10. La tensión de salida E_o de un generador compound acumulativo
- aumenta de forma lineal con el aumento de la corriente de salida I_o .
 - disminuye de forma lineal con el aumento de la corriente de salida I_o .
 - varía levemente con el aumento de la corriente de salida I_o .
 - disminuye de forma rápida y no lineal con el aumento de la corriente de salida I_o .

Características especiales de los motores cc

OBJETIVO DE LA UNIDAD Tras completar esta unidad, usted podrá demostrar y explicar algunas de las características especiales de funcionamiento de los motores cc.

**PRINCIPIOS
FUNDAMENTALES**

En la Unidad 2 de este manual, usted observó las principales características de funcionamiento de un motor cc con excitación independiente, al que se puede considerar un convertidor lineal de tensión a velocidad y un convertidor lineal de corriente a par. También observó que un motor cc es un convertidor reversible que puede convertir la energía eléctrica en potencia mecánica y viceversa.

Sin embargo, el funcionamiento de un motor cc deja de ser lineal cuando la corriente de campo o la del inducido exceden su valor nominal. Cuando la corriente de campo es demasiado alta, se produce en el hierro de la máquina cc el fenómeno de saturación. Por lo tanto, el flujo del campo magnético fijo de la máquina cc ya no aumenta de forma proporcional respecto de la corriente de campo. Cuando la corriente del inducido es demasiado elevada, se produce un fenómeno denominado reacción de inducido. La reacción de inducido modifica el flujo del campo magnético fijo de la máquina cc, por lo que cambian las características de la relación entre el par y la corriente del inducido. También provoca una reducción de la tensión inducida (E_{CEMF} o E_{EMF} , según si la máquina cc funciona como motor o generador).

En la Unidad 2 de este manual se observó el funcionamiento de los motores cc shunt y serie conectados a una fuente de energía cc. Esos dos motores también funcionan con energía ca, pero tienen muy bajo rendimiento. En esta unidad usted observará que, si se agrega un bobinado especial de compensación, se puede lograr un rendimiento aceptable de un motor serie que funciona con una fuente de energía ca. A este tipo de motor se lo denomina motor universal.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Reacción de inducido y efecto de saturación

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al completar este ejercicio, usted podrá demostrar algunos de los efectos de la reacción de inducido y la saturación en máquinas cc empleando el motor/generador cc.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS Los Principios de este ejercicio abarcan lo siguiente:

- Reacción de inducido
- Efecto de saturación

PRINCIPIOS

Reacción de inducido

Anteriormente, usted observó que la velocidad de rotación de un motor o generador cc es proporcional a la tensión del inducido E_A y que el par es proporcional a la corriente del inducido I_A . Sin embargo, esas dos relaciones ya no son válidas cuando la corriente del inducido I_A aumenta considerablemente y excede su valor nominal. Esto se debe a que el campo magnético generado por el inducido empieza a afectar negativamente el campo magnético producido por el electroimán de campo. El efecto de la reacción de inducido en la tensión de salida de un generador cc se ilustra en la figura 3-1.

Cuando la corriente del inducido I_A es igual a cero, el flujo ϕ del generador cc es horizontal, el colector rectifica perfectamente la tensión inducida en el bobinado del inducido y la tensión de salida del generador cc es máxima, como se muestra en la figura 3-1(a). No obstante, cuando la corriente del inducido I_A es distinta de cero, los campos magnéticos producidos por el inducido y el electroimán de campo se suman de forma vectorial. El flujo magnético que resulta de la interacción de ambos campos magnéticos ya no es horizontal, como se muestra en la figura 3-1(b), y la tensión inducida se retrasa. Dado que los instantes de conmutación no han cambiado, disminuye el valor promedio de la tensión rectificada (tensión de salida). Además de producir una menor tensión de salida, la conmutación se produce en instantes en que la tensión inducida es distinta de cero, por lo que se generan chispas en las escobillas y el colector, lo que incrementa su desgaste. Otro problema creado por la reacción de inducido es una disminución del par magnético cuando se incrementa la corriente del inducido I_A .

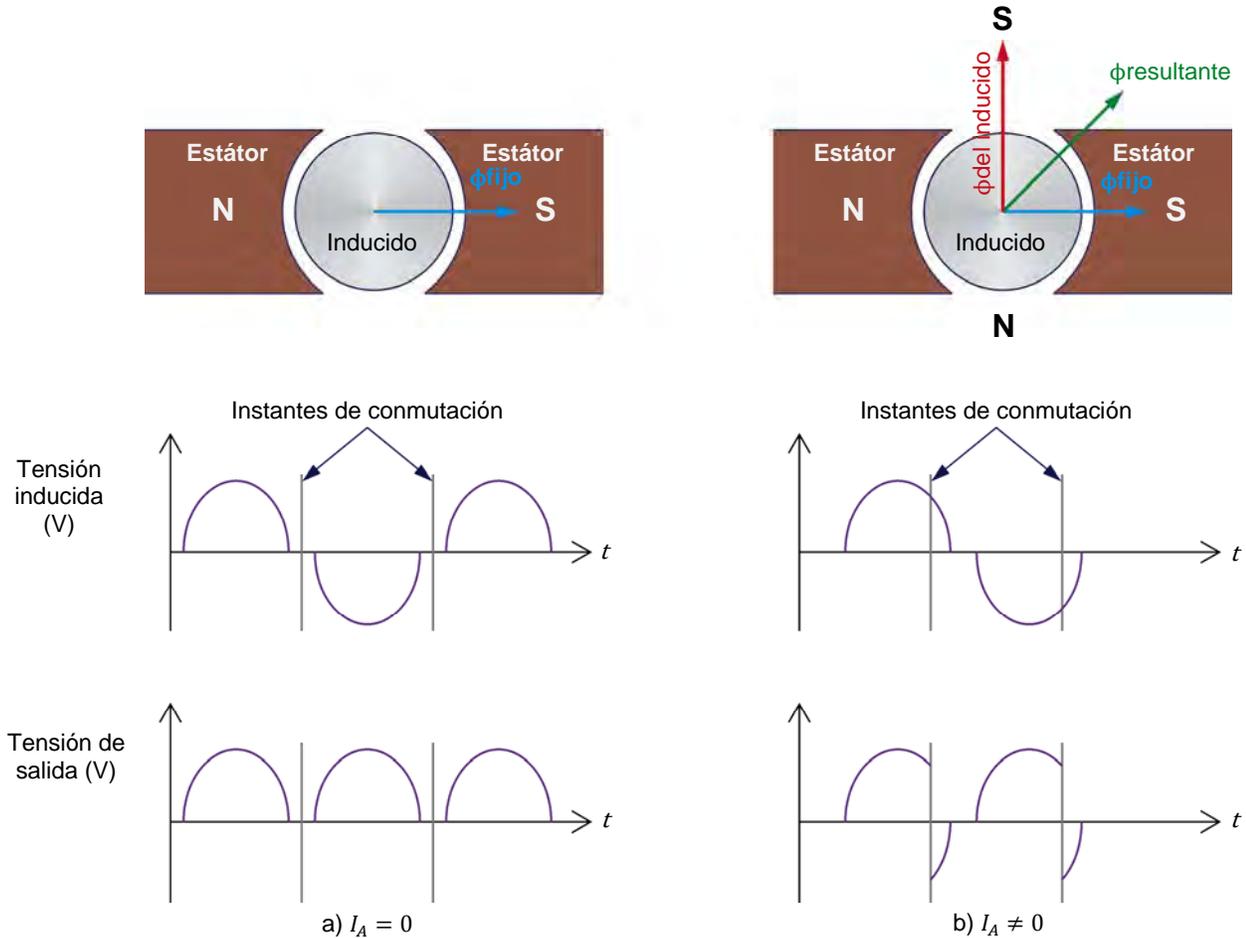


Figura 3-1. Efecto de la reacción de inducido en la tensión de salida del generador.

La figura 3-2(a) muestra el efecto de la reacción de inducido en la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida de un generador cc con excitación independiente. La línea de puntos representa la relación entre la tensión y la corriente de un generador cc teórico (sin reacción de inducido, es decir, $E_o = E_{EMF} - R_A \cdot I_o$). La otra curva es la relación real entre la tensión y la corriente del mismo generador, incluida la reacción de inducido. Como se puede observar dicha reacción causa una disminución adicional de la tensión de salida. Esa disminución es cada vez más alta con el aumento de la corriente de salida.

La figura 3-2(b) muestra el efecto de la reacción de inducido en la relación entre el par y la corriente de una máquina cc con excitación independiente. La línea de puntos representa la relación teórica (lineal) entre el par y la corriente, es decir, sin reacción de inducido. La otra curva representa la relación real, incluida la reacción de inducido. Como se puede observar, la reacción de inducido hace que el par ya no aumente en forma lineal con la corriente (I_A o I_o , según si la máquina cc funciona como motor o generador).

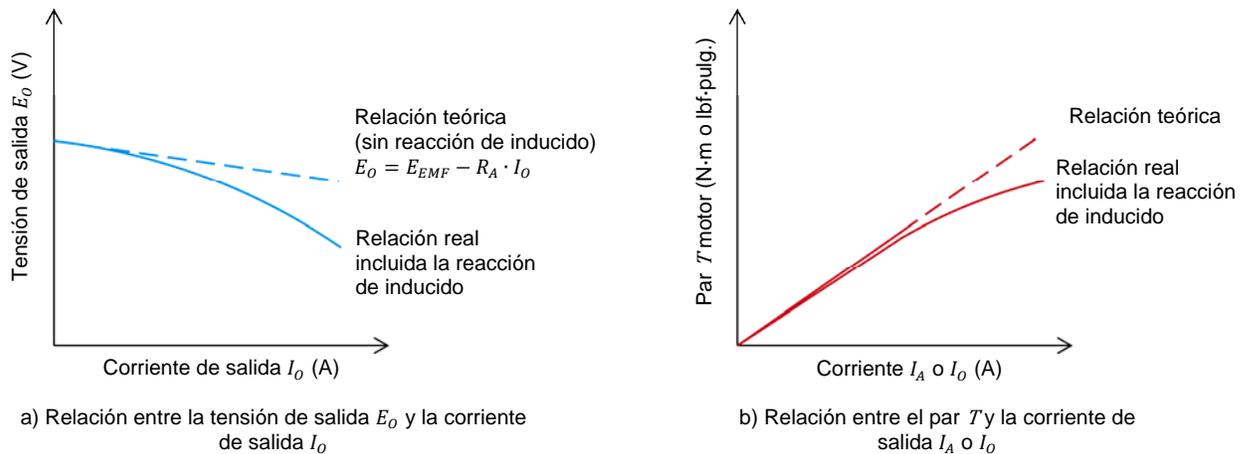


Figura 3-2. Efectos de la reacción de inducido.

La consecuencia más grave de la reacción de inducido es el aumento del desgaste de las escobillas y el colector debido a las chispas generadas. Para máquinas cc pequeñas, se puede mejorar la conmutación cambiando la posición de las escobillas, pero esta solución solo se aplica al punto exacto de funcionamiento para el que están ajustadas. Sin uno desea cambiar la dirección de rotación o hacer funcionar la máquina cc como generador, es preciso reajustar la posición de la escobilla. Para mejorar la conmutación, los motores de gran tamaño incorporan bobinados extra, denominados “bobinados de conmutación”, a través de los cuales fluye la corriente del inducido. Están ubicados con el fin de generar un campo magnético que produce la inducción de una tensión leve en las bobinas del inducido que se están conmutando. De este modo, se garantiza la conmutación adecuada independientemente del valor de la corriente del inducido, la dirección de rotación y el funcionamiento de la máquina (motor o generador).

También se puede mejorar la conmutación usando un motor cc de imán permanente, porque este tipo de motor casi no presenta reacción de inducido para valores de corriente de hasta el quintuple de la corriente nominal del inducido. Esto se debe a que un imán permanente puede crear un campo magnético muy poderoso que es prácticamente inmune a otras fuentes magnéticas. Por lo tanto, el campo magnético producido por el inducido casi no afecta el campo magnético total de la máquina.

Otro criterio que influye en la conmutación es la inductancia L_A del bobinado del inducido. Cuando la inductancia del inducido es demasiado elevada, resulta difícil la conmutación porque no se puede detener el flujo de corriente e invertirlo instantáneamente en inductores cuya inductancia es elevada. El motor cc de imán permanente tiene la particularidad de que en el inducido tiene una baja inductancia, lo que garantiza una mejor conmutación. Por estos motivos, las características de los motores cc de imán permanente superan las de los motores con excitación independiente, serie y shunt. Sin embargo, no es posible construir motores cc de imán permanente de gran tamaño.

Efecto de saturación

Como se vio anteriormente, se puede variar la corriente de campo I_f de un motor cc para modificar las características de funcionamiento. Por ejemplo, cuando se reduce I_f , aumenta la velocidad aunque la tensión del inducido permanezca fija. No obstante, disminuye el par motor desarrollado para una corriente dada del inducido. Por lo tanto, la potencia de salida del motor se mantiene constante porque es proporcional al producto de la velocidad y el par.

En muchos casos, es deseable tener un motor que produzca un valor máximo de par a baja velocidad. Para obtener un motor de este tipo, es preciso incrementar la fuerza del electroimán de campo (mayor corriente de campo I_f) y la fuerza del electroimán rotatorio del inducido (mayor corriente del inducido I_A). Sin embargo, es preciso limitar la corriente del inducido para evitar el sobrecalentamiento. Asimismo, se debe limitar la I_A para evitar la saturación. Cuando uno comienza a incrementar I_f , la constante K_2 aumenta en forma proporcional. No obstante, una vez que la corriente de campo supera cierto valor, se empieza a producir la saturación en el hierro de la máquina. En consecuencia, la fuerza del electroimán de campo ya no aumenta en forma proporcional a I_f . La figura 3-3 ilustra el aumento del par producido por un motor cc cuando se incrementa I_f y la corriente del inducido I_A se mantiene en un valor fijo.

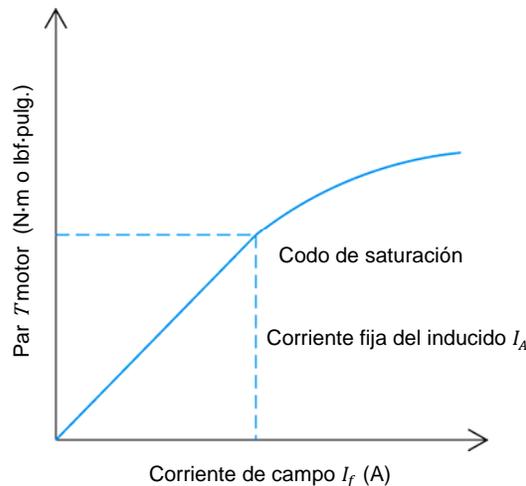


Figura 3-3. Efecto de la saturación en el par de un motor cc.

Como se puede observar, la curva de la relación entre el par T y la corriente de campo I_f se aplana para valores de I_f más elevados. El aumento extra del par en los aumentos adicionales de la corriente de campo se reduce cuando se supera el codo de saturación. Con mayores valores de I_f , también aumenta el calentamiento del motor. Por lo general, se selecciona el valor nominal de la corriente de campo para que esté justo al inicio del codo de saturación a fin de obtener el mayor valor de par posible con una corriente de campo del menor valor posible.

Se pueden observar las mismas características si se utiliza un motor cc como generador, porque a mayor fuerza del electroimán de campo, mayor la tensión inducida E_{EMF} a una velocidad determinada y mayor la tensión de salida E_o . En la figura 3-4 se ilustra la relación entre la tensión de salida E_o y la corriente de campo I_f para una velocidad fija.

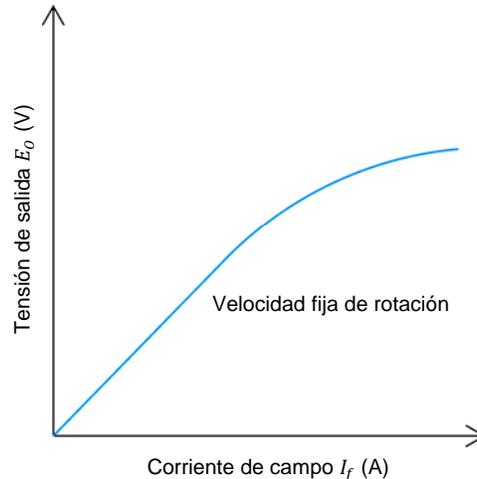


Figura 3-4. Efecto de la saturación en la tensión de salida de un generador cc.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento se divide en las siguientes secciones:

- Efecto de la reacción de inducido en la tensión de salida de un generador cc
- Instalación y conexiones
- Efecto de la reacción de inducido en el par
- Efecto de la saturación en el par
- Experimentos adicionales (optativo)
 - Efecto de la reacción de inducido en el par desarrollado por un motor cc.*

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones elevadas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana sin apagar la fuente de alimentación, a menos que se especifique lo contrario.

Efecto de la reacción de inducido en la tensión de salida de un generador cc

En esta sección, usted realizará cálculos con datos obtenidos en los Ejercicios 2-1 y 2-3. Utilizará los resultados de esos cálculos para representar, en el gráfico G232-1, la relación teórica entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador cc con excitación independiente empleado en el Ejercicio 2-3. Esto le permitirá ilustrar el efecto de la reacción de inducido en la tensión de salida de un generador cc.

1. Registre en el espacio en blanco que figura a continuación la resistencia del inducido R_A del **Motor/generador cc** medida en el Ejercicio 2-1.

Resistencia del inducido $R_A = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

2. Consulte el gráfico G232-1 obtenido en el Ejercicio 2-3. Ese gráfico representa la relación entre la tensión de salida y la corriente de salida de un generador cc con excitación independiente que funciona a velocidad fija. Registre la tensión de salida en vacío del generador (la tensión obtenida cuando la corriente en la salida del generador cc $I_o = 0$ A) en el siguiente espacio en blanco (este dato figura en la tabla DT232). Esta tensión equivale a la tensión inducida a través del bobinado del inducido del generador cc (E_{EMF}).

$E_{EMF} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

3. Calcule la tensión de salida E_o del generador cc para cada una de las corrientes de salida I_o indicadas en la tabla 3-1 para su red eléctrica ca local, mediante la siguiente ecuación:

$$E_o = E_{EMF} - R_A \cdot I_o$$

Tabla 3-1. Corrientes de salida del generador cc.

Red eléctrica ca local		Corriente de salida I_o (A) del generador cc.			
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	0,5	1,0	1,5	2,0
220	50	0,25	0,5	0,75	1,0
240	50	0,25	0,5	0,75	1,0
220	60	0,25	0,5	0,75	1,0

Cuando $I_o = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $E_o = \underline{\hspace{1cm}}$ V

Cuando $I_o = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $E_o = \underline{\hspace{1cm}}$ V

Cuando $I_o = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $E_o = \underline{\hspace{1cm}}$ V

Cuando $I_o = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $E_o = \underline{\hspace{1cm}}$ V

4. Utilice las tensiones y corrientes de salida del generador cc obtenidas en el paso anterior para representar, en el gráfico G232-1, la relación teórica entre la tensión de salida y la corriente de salida del generador cc con excitación independiente.

Compare las relaciones teórica y real entre la tensión y la corriente representadas en el gráfico G232-1. ¿Se demuestra así que la reacción de inducido causa una disminución adicional de la tensión de salida cuando aumenta la corriente de salida?

Sí No

Instalación y conexiones

En esta sección usted acoplará mecánicamente el motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes e instalará el equipo.

5. Consulte la Tabla de utilización del equipo del Apéndice A para conocer la lista de equipos necesarios para este ejercicio. Instale el equipo en el **Puesto de trabajo**.



Antes de empezar con el ejercicio, verifique que las escobillas del Motor/generador cc estén en el punto neutro. Conecte una fuente de energía ca de tensión variable (terminales 4 y N de la Fuente de alimentación) al inducido del Motor/generador cc (terminales 1 y 2) a través de la entrada de corriente I1 de la Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI). Conecte el bobinado shunt del Motor/generador cc (terminales 5 y 6) a la entrada de tensión E1 de la DACI. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Configure dos medidores para calcular el valor eficaz (ca) de la tensión del inducido E_A y de la corriente del inducido I_A en las entradas E1 e I1 de la DACI, respectivamente. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión de modo que la corriente ca (indicada por el medidor I1 en la ventana **Aparatos de medición**) sea igual a la mitad de la corriente nominal del inducido que circula en el inducido del Motor/generador cc. Ajuste la palanca de control de la escobilla del Motor/generador cc de modo que sea mínima la tensión que circula a través del bobinado shunt (indicada por el medidor E1 en la ventana **Aparatos de medición**). Apague la Fuente de alimentación, cierre el software LVDAC-EMS y desconecte todos los cables.

Acople mecánicamente el Motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes mediante una correa de distribución.



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

6. Asegúrese de que el interruptor principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** se encuentre en la posición **O** (apagado), luego conecte la **Entrada de potencia** a una salida de energía ca de la pared.
7. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal y el de energía ca de 24 V se encuentren en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión indique 0% (girada completamente en sentido antihorario). Conecte la **Fuente de alimentación** a una salida de energía ca trifásica.

8. Conecte la *Entrada de potencia* de la *Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)* a la fuente de energía ca de 24 V de la *Fuente de alimentación*.

Encienda la fuente de energía ca de 24 V de la *Fuente de alimentación*.

9. Conecte el puerto USB de la *Interfaz de adquisición de datos y de control* a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* a un puerto USB de la computadora.

10. Conecte el equipo como se muestra en la figura 3-5. Use la salida de tensión cc fija de la *Fuente de alimentación* para implementar la fuente de energía cc de tensión fija. *I1* e *I2* son entradas de corriente de la *Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)*. Cabe señalar que no hay carga eléctrica conectada a la salida del generador.

 Si su red eléctrica ca local es de 120 V, utilice la *Gama de 40 A* para la entrada de corriente *I1* de la *Interfaz de adquisición de datos y de control*.

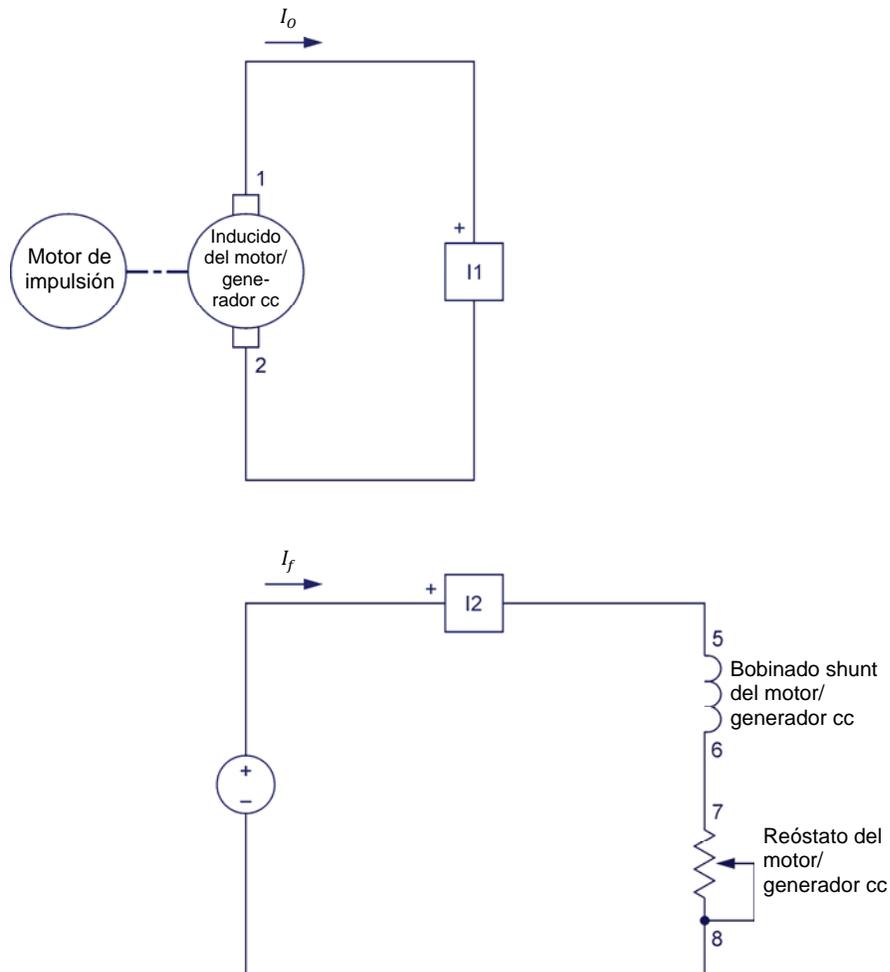


Figura 3-5. Generador cc con excitación independiente acoplado a un motor de impulsión.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

11. En el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el interruptor *Modo de operación* en posición *Dinamómetro*. Esta configuración permite que según la función seleccionada el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como motor de impulsión, freno o ambos.

Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

12. Encienda la computadora y ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS** asegúrese de que se hayan detectado la **Interfaz de adquisición de datos y de control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Asegúrese de que la función **Instrumentación informatizada** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** esté disponible. Asimismo, seleccione la tensión y frecuencia correspondientes a la tensión y frecuencia de la red eléctrica ca local, luego haga clic en el botón *Aceptar* para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.



*Si la tensión de su red eléctrica ca local es de 120 V, en la ventana **Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control** del software **LVDAC-EMS** ajuste la **Gama de la entrada de corriente I1** en 40 A.*

13. En el software **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y luego realice las siguientes configuraciones:

- Ajuste el parámetro *Función* en *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH*. Esta configuración hace que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como un freno/motor de impulsión en sentido horario con velocidad que corresponde al parámetro *Velocidad*.
- Ajuste el parámetro *Relación de la polea* la opción 24:24. Las cifras primera y segunda de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y la cantidad de dientes de la polea de la máquina que se prueba (es decir, el **Motor/generador cc**), respectivamente.
- Asegúrese de que el parámetro *Control* de *Velocidad* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente la velocidad del motor de impulsión/freno en sentido horario.
- Ajuste el parámetro *Velocidad* (es decir, el comando de velocidad) en 0 r/min. Cabe destacar que el comando de velocidad es la velocidad objetivo en el eje de la máquina acoplada al motor de impulsión, en este caso, la velocidad del **Motor/generador cc**.



*También se puede configurar el comando de velocidad mediante la perilla *Velocidad* de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.*

14. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Configure dos medidores para calcular las corrientes de salida I_o ($I1$) y de campo I_f ($I2$) del generador cc.

Haga clic en el botón **Regeneración continúa** para habilitar la actualización continua de los valores de los diversos medidores de la aplicación **Aparatos de medición**.

Efecto de la reacción de inducido en el par

En esta sección usted configurará la corriente de campo del generador cc con excitación independiente. Hará variar la corriente de salida del generador cc de cero al doble de su valor nominal con el fin de obtener los datos necesarios para representar gráficamente la relación entre el par aplicado al eje del generador cc y la corriente de salida I_o del generador cc. Esto le permitirá demostrar el efecto de la reacción de inducido en la relación entre el par y la corriente de una máquina cc.

15. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Tabla de datos**. Configure la **Tabla de datos** para registrar las corrientes de salida I_o y campo I_f del generador cc (indicadas por los medidores $I1$ e $I2$ de la ventana **Aparatos de medición**), así como la velocidad de rotación n y el par T del generador cc (indicados por los medidores **Velocidad** y **Par** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**).

16. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** arranque el **Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH** haciendo clic en el botón **Marcha/Parada** o ajustando el parámetro **Estado** en la opción **En marcha**.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido).

17. En el **Motor/generador cc**, ajuste la perilla **Reóstato de campo** de modo que la corriente de campo I_f (medidor $I2$) del generador cc sea igual al valor indicado en la tabla 3-2 para su red eléctrica ca local.

Tabla 3-2. Corriente de campo I_f .

Red eléctrica ca local		Corriente de campo I_f (mA)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	250
220	50	160
240	50	175
220	60	160

18. Mediante el parámetro *Velocidad* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, aumente en 10 etapas la velocidad del motor de impulsión para incrementar la corriente de salida I_o (medidor *I1*) del generador de 0 A a cerca del doble de la corriente del inducido del *Motor/generador cc*. Para cada valor de corriente, registre las corrientes de salida I_o y de campo I_f del generador cc, así como la velocidad n y el par T del generador cc en la *Tabla de datos*.

ATENCIÓN

La tensión de salida del generador cc superará la tensión nominal del módulo Carga resistiva, por lo que es preciso realizar este ajuste en menos de 5 minutos.

19. Cuando se hayan registrado todos los datos, detenga el motor de impulsión ajustando el parámetro *Velocidad* de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* en 0 r/min. Detenga el *Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SH* haciendo clic en el botón *Marcha/Parada* o ajustando el parámetro *Estado* en la opción *Parado*.

Apague la *Fuente de alimentación* ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la *Fuente de alimentación*).

En la ventana *Tabla de datos*, confirme que se hayan almacenado los datos. Invierta la polaridad de los valores de par registrados en la *Tabla de datos* para obtener el par aplicado al eje del generador cc. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT311 y si desea, imprímala.

20. En la ventana *Gráfico*, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico del par aplicado al eje del generador cc en función de la corriente de salida I_o del generador cc. Titule el gráfico "G311", denomine el eje x "Corriente de salida del generador cc" y el eje y "Par aplicado al eje del generador cc", y si desea, imprima el gráfico.

¿Podemos afirmar que la variación del par es lineal cuando la corriente de salida I_o del generador cc supera la corriente nominal del inducido del *Motor/generador cc*?

Sí No

En la *Tabla de datos*, borre los datos guardados.

Efecto de la saturación en el par

En esta sección, usted hará variar la corriente de campo de un motor cc con excitación independiente desde cero hasta un 175% de su valor nominal y mantendrá, a su vez, una corriente fija del inducido, con el fin de obtener los datos necesarios para representar gráficamente la relación entre el par motor T y la corriente de campo I_f . Esto le permitirá demostrar el efecto de la saturación en las máquinas cc.

21. Cambie las conexiones para obtener el circuito del motor cc con excitación independiente que se muestra en la figura 3-6. Use la salida de tensión cc variable de la Fuente de alimentación para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_s . $E1$, $I1$ e $I2$ son entradas de tensión y corriente de la Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI). Utilice el módulo Carga resistiva para implementar el resistor R_1 . Conecte las tres secciones de resistores de dicho módulo en paralelo y coloque todos los conmutadores de palanca en la posición I (encendido). Por el momento, utilice un cable de conexión para cortocircuitar el resistor R_1 , como lo indica la línea de trazos de la figura 3-6.



En la ventana *Interfaz de adquisición de datos y de control* del software *LVDAC-EMS*, utilice la *Gama de corriente* de 40 A en las entradas $I1$ e $I2$. En la ventana *Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control* del software *LVDAC-EMS*, asegúrese que la *Gama* de las entradas $I1$ e $I2$ esté ajustada en 4 A.

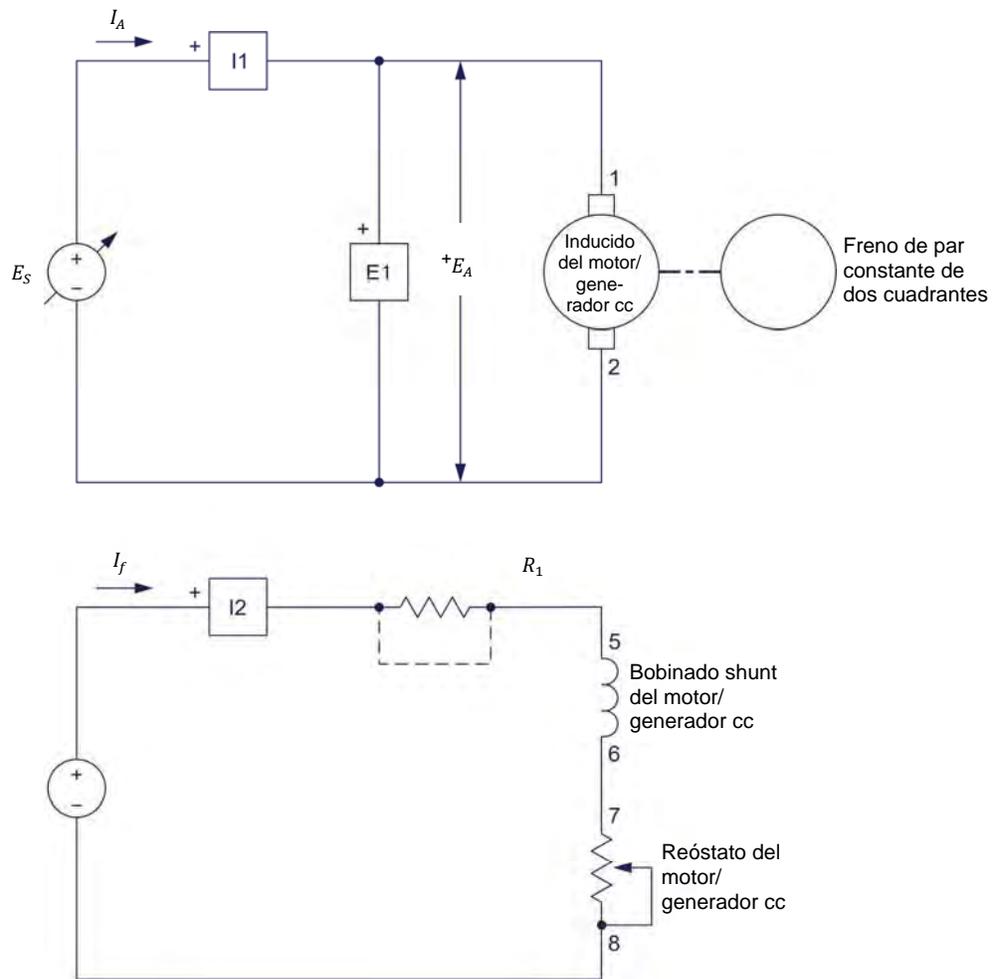


Figura 3-6. Motor cc con excitación independiente acoplado a un freno.

22. En el *Motor/generador cc*, gire completamente la perilla *Reóstato de campo* en sentido horario.

23. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, haga las siguientes configuraciones:

- Ajuste el parámetro *Función* para la opción *Freno de par constante de dos cuadrantes*. Esta configuración hace que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como un freno de dos cuadrantes con un valor de par que corresponde al parámetro *Par*.
- Asegúrese de que el parámetro *Relación de la polea* esté en 24:24.
- Asegúrese de que el parámetro *Control del par* esté ajustado en *Perilla*.
- Configure el parámetro *Par* en el valor máximo (3,0 N·m o 26,5 lbf·pulg.). Esto configura el comando par del *Freno de par constante de dos cuadrantes* en 3,0 N·m (26,5 lbf·pulg.).



También se puede configurar el comando par mediante la perilla *Par* de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.

- En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** arranque el *Freno de par constante de dos cuadrantes* ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha* o haciendo clic en el botón *Marcha/Parada*.

24. En la ventana **Aparatos de medición**, asegúrese de que los medidores estén configurados para calcular la tensión del inducido E_A (*E1*), las corrientes del inducido I_A (*I1*) y de campo I_f (*I2*) del motor cc.

Verifique que la **Tabla de datos** esté lista para registrar la tensión del inducido E_A (*E1*), las corrientes del inducido I_A (*I1*) y de campo I_f (*I2*) del motor cc, así como la velocidad n y el par T del motor cc (indicados por los medidores *Velocidad* y *Par* en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**).

Asegúrese de que en la **Fuente de alimentación** la perrilla de control de tensión esté ajustada en 0%. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido) y luego regule la perilla de control de tensión de modo que la corriente del inducido I_A (indicada por el medidor *I1*) del motor cc sea igual al 50% del valor nominal. Registre en la **Tabla de datos** la tensión del inducido E_A , las corrientes del inducido I_A y de campo I_f del motor cc, así como la velocidad n y el par T del motor cc.

25. Reduzca la corriente de campo I_f por etapas, como se indica en la tabla 3-3 para la red eléctrica ca local. Para cada ajuste de corriente, vuelva a regular la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** de manera que la corriente de inducido I_A permanezca igual al 50% del valor nominal. Luego, registre la tensión de inducido E_A , la corriente de inducido I_A y la corriente de campo I_f , así como la velocidad n y el par T del motor cc en la **Tabla de datos**.



Para reducir la corriente de campo I_f , primero utilice la perilla **Reóstato de campo** del **Motor/generador cc** solamente. Una vez que esta perilla alcanza su posición antihoraria máxima, introduzca el resistor R_1 en el circuito para reducir aún más la corriente de campo I_f hasta alcanzar los valores más bajos de la tabla 3-3, siguiendo las siguientes etapas:

- En la **Fuente de alimentación**, coloque el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje la fuente de potencia de 24 V ca de la **Fuente de alimentación** encendida).
- Retire el cable que cortocircuita el resistor R_1 para introducirlo en el circuito.
- En la **Fuente de alimentación**, coloque el interruptor principal en la posición **I** (encendido).
- Ajuste el valor de resistencia del resistor R_1 (cambiando los ajustes de los conmutadores de palanca del módulo **Carga resistiva**) y la perilla del reóstato de campo del **Motor/generador cc** para llevar la corriente de campo I_f a los valores más bajos indicados en la tabla 3-3.

ATENCIÓN

En esta etapa, la corriente de campo I_f excede el valor nominal del **Motor/generador cc**. Por lo tanto, se sugiere completarla en no más de 10 minutos.

Tabla 3-3. Corrientes de campo de un motor cc con excitación independiente.

Red eléctrica ca local		Corriente de campo I_f (mA)							
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)								
120	60	450	400	350	300	250	200	150	100
220	50	285	255	220	190	160	130	95	65
240	50	315	280	245	210	175	140	105	70
220	60	285	255	220	190	160	130	95	65

- 26.** En el módulo **Carga resistiva**, ajuste la resistencia del resistor con el máximo valor indicado en la tabla 3-4 para su red eléctrica ca local. En el módulo **Motor/Generador cc**, gire la perilla **Reóstato de campo** completamente en sentido antihorario, vuelva a ajustar la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** de manera que la corriente del inducido I_A permanezca igual al 50% del valor nominal. Luego, registre en la **Tabla de datos** la tensión del inducido E_A , las corrientes del inducido I_A y de campo I_f , así como la velocidad n y el par T del motor cc.



El Apéndice C de este manual muestra los ajustes y conexiones que se deben realizar en el módulo **Carga resistiva** para obtener los diferentes valores de resistencia.

Tabla 3-4. Valor de resistencia máximo para R_1 .

Red eléctrica ca local		R_1 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	1200
220	50	4400
240	50	4800
220	60	4400

27. Detenga el **Motor/generador cc** ajustando la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** en 0% y el interruptor principal de la **Fuente de alimentación** en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, configure el parámetro **Par** en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.), luego haga clic en el botón **Marcha/Parada** de esa ventana para detener el **Freno de par constante de dos cuadrantes**.

En la ventana **Tabla de datos**, confirme que se hayan almacenado los datos. Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT312 y si desea, imprímala.

28. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones apropiadas para obtener un gráfico del par del motor cc en función de la corriente de campo I_f . Titule el gráfico "G312", denomine el eje x "Corriente de campo" y el eje y "Par motor", y si desea, imprima el gráfico.

Observe el gráfico G312. ¿Cómo varía el par del motor cc con el aumento de la corriente de campo?

Explique brevemente qué ocurre cuando la corriente de campo excede el valor nominal.



El valor nominal de la corriente de campo I_f para su red local está indicado en la tabla 2-1 del Ej. 2-1.



Si quiere realizar los experimentos adicionales, saltee el próximo paso y vuelva a él una vez terminados todos los ajustes adicionales.

29. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal se encuentre en la posición **O** (apagado) y luego apague la fuente de energía ca de 24 V. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Apague el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Desconecte todos los cables y guárdelos.

Experimentos adicionales (optativo)

Efecto de la reacción de inducido en el par desarrollado por un motor cc

Usted puede observar el efecto que causa la reacción de inducido en las características de la relación entre el par y la corriente de un motor cc con excitación independiente. A tal fin, consulte el gráfico G212. Éste muestra las características de la relación entre el par y la corriente del motor cc con excitación independiente empleado en el Ejercicio 2-1. Observe que dicha relación deja de ser lineal cuando la corriente del inducido adquiere valores elevados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted vio que la reacción de inducido en las máquinas cc provoca la rápida disminución de la tensión de salida de un generador cuando aumenta la corriente del inducido. Observó que el par motor se ve afectado de la misma manera. Notó que el par deja de aumentar en forma lineal con la corriente de campo cuando se empieza a saturar el hierro de la máquina cc.

Si llevó a cabo el experimento adicional, observó que la reacción de inducido afecta las características de la relación entre el par y la corriente de un motor cc con excitación independiente.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la consecuencia más grave de la reacción de inducido en las máquinas cc?

2. ¿Cómo afecta la reacción de inducido a la tensión de salida de un generador cc?

3. ¿Cómo afecta la reacción de inducido al par de un motor cc?

4. ¿Por qué un motor cc de imán permanente tiene mejor conmutación que un motor cc convencional?

5. ¿Es preciso reajustar las escobillas de una máquina cc con bobinados de conmutación para distintos puntos de funcionamiento?
-

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Motor universal

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al completar este ejercicio, usted podrá demostrar el funcionamiento con ca y cc de los motores universales.

PRINCIPIOS En la Unidad 2, usted vio que el bobinado del inducido genera un campo magnético rotatorio en el rotor de un motor cc. Ese campo magnético rota a la misma velocidad que el motor, pero en la dirección contraria. En consecuencia, los polos del electroimán del rotor permanecen en un lugar fijo. Además, los polos del electroimán del rotor están siempre a 90° de los polos del imán del estátor o electroimán (electroimán de campo), como se ilustró en la figura 2-4.

Sin embargo, si se invierte la polaridad del electroimán del estátor o del electroimán del rotor, se invierte la dirección de rotación del motor, porque se invierten las fuerzas de atracción y repulsión entre los dos imanes. En la figura 3-7 se ilustran las distintas posibilidades en el caso de que cambien la polaridad de la corriente del inducido I_A y la de la corriente de campo I_f . Cuando las corrientes I_A e I_f tienen la misma polaridad, el motor rota en sentido horario. Por el contrario, cuando las corrientes I_A e I_f tienen polaridad opuesta, rota en sentido antihorario.

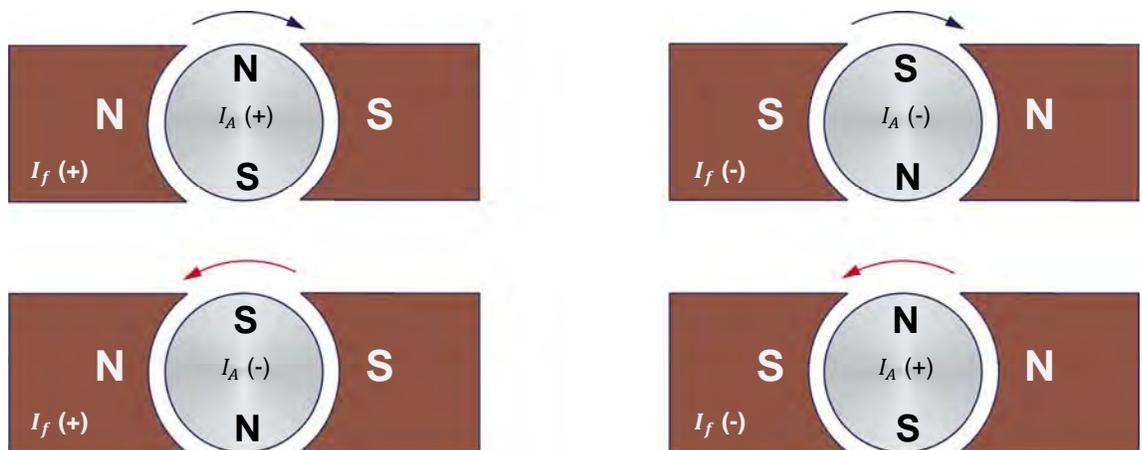


Figura 3-7. La dirección de rotación depende de la polaridad de las corrientes del inducido y de campo.

Quando el inducido y el electroimán de campo de un motor cc reciben energía de la misma fuente, como en el caso de los motores shunt y serie, la inversión de la polaridad de la fuente de tensión invierte la polaridad de las corrientes del inducido y de campo. Por consiguiente, el par no cambia de dirección cuando cambia la polaridad de la tensión aplicada al motor. Así, los motores cc shunt y serie rotan cuando están conectados a una fuente de energía ca pese a que la polaridad de la tensión de la fuente cambia constantemente.

No obstante, como los motores están hechos de hierro y bobinados, siempre hay inductancia asociada a esos bobinados. Por ejemplo, el bobinado de campo de un motor shunt suele tener un elevado valor de inductancia, porque está compuesto de muchas vueltas de alambre. Esto dificulta que la corriente alterna fluya por el bobinado ya que una inductancia elevada implica una alta impedancia. Por este motivo, es casi imposible obtener un rendimiento satisfactorio de un motor shunt conectado a una fuente de energía ca.

En los motores serie, el bobinado de campo no tiene más que unas pocas vueltas de alambre. Por lo tanto, el bobinado de campo de los motores serie tiene baja inductancia. Así, su impedancia es mucho menor que la de un bobinado shunt y los motores serie funcionan mejor con energía ca que los motores shunt. No obstante, el rendimiento obtenido con energía ca es, naturalmente, muy inferior al que se obtiene cuando el motor serie está conectado a una fuente de energía cc.

Se puede mejorar en gran medida el rendimiento de un motor serie que funciona con energía ca reduciendo la inductancia del bobinado del inducido. Para ello, se puede añadir al motor serie otro bobinado, llamado "bobinado de compensación". Este bobinado está instalado en las ranuras del estátor y la corriente del inducido circula a través del bobinado. Los bucles de alambre del bobinado de compensación están conectados de modo que la dirección del flujo de corriente de cada bucle es opuesta a la dirección del flujo de corriente del bucle correspondiente del inducido que se encuentra a su lado, como se ilustra en la figura 3-8.

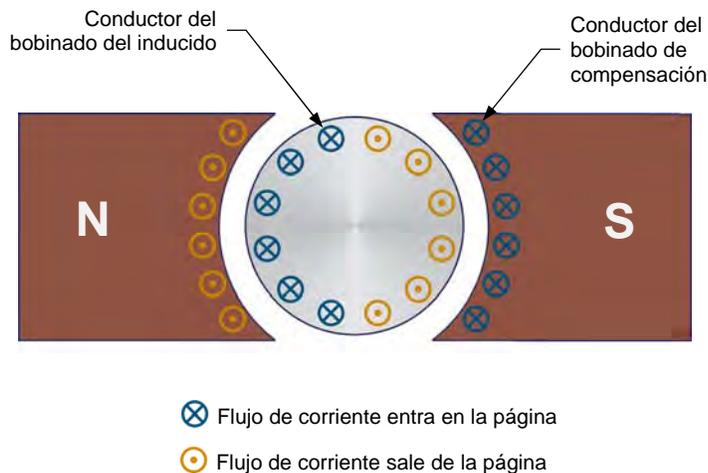


Figura 3-8. Flujo de corriente en el bobinado de compensación.

Esto equivale a devanar la bobina de un inductor con diez vueltas de alambre en una dirección y luego con diez vueltas de alambre en dirección opuesta. El inductor resultante tiene muy baja inductancia debido a que la existencia de la misma cantidad de bobinas devanadas en direcciones opuestas tiene un efecto de cancelación. A este nuevo tipo de motor serie se lo conoce como "motor universal" porque puede operar indistintamente con energía ca y cc.

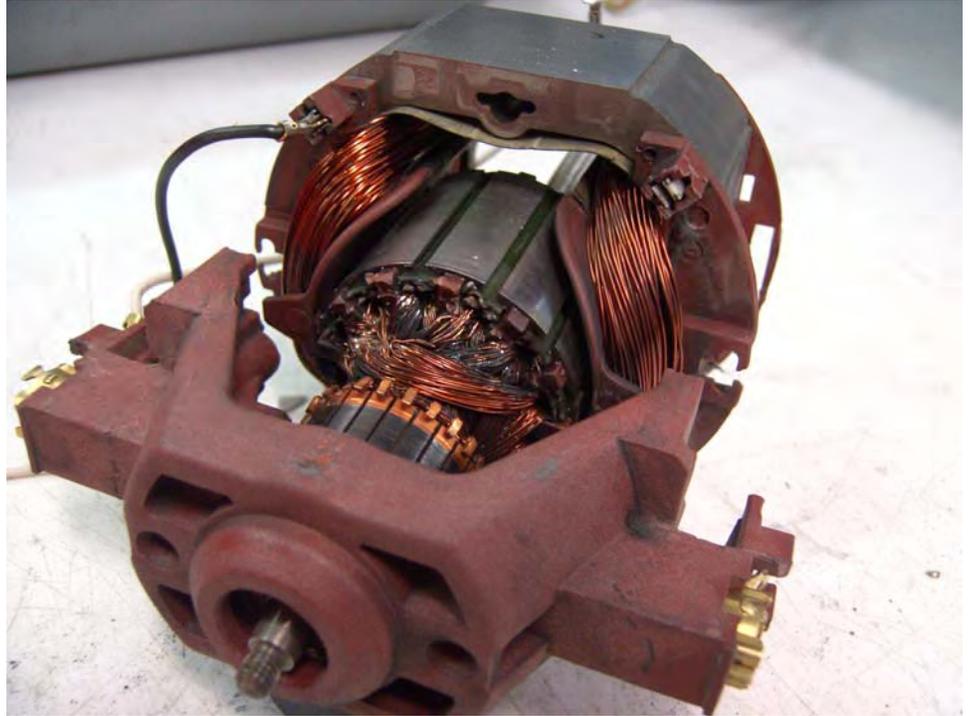


Figura 3-9. Ejemplo de motor universal utilizado en una aspiradora (fotografía: cortesía de Marrcci).

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento se divide en las siguientes secciones:

- Instalación y conexiones
- Dirección de rotación de un motor serie cc
- Motor serie cc que funciona con energía ca
- Dirección de rotación de un motor universal que funciona con energía cc
- Motor universal que funciona con energía ca
- Efecto del bobinado de compensación
- Experimentos adicionales (optativo)

Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor universal alimentado con energía ca. Motor shunt cc que funciona con energía ca.

PROCEDIMIENTO

ADVERTENCIA



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones elevadas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana sin apagar la fuente de alimentación, a menos que se especifique lo contrario.

Instalación y conexiones

En esta sección usted acoplará mecánicamente el motor/generador cc al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes e instalará el equipo.

1. Consulte la Tabla de utilización del equipo del Apéndice A para conocer la lista de equipos necesarios para este ejercicio. Instale el equipo en el **Puesto de trabajo**.

Antes de empezar el ejercicio, verifique que las escobillas del Motor/generador cc estén en el punto neutro. Conecte una fuente de energía ca de tensión variable (terminales 4 y N de la Fuente de alimentación) al inducido del Motor/generador cc (terminales 1 y 2) a través de la entrada de corriente I1 de la Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI). Conecte el bobinado shunt del Motor/generador cc (terminales 5 y 6) a la entrada de tensión E1 de la DACI. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Aparatos de medición. Configure dos medidores para calcular el valor eficaz (ca) de la tensión del inducido E_A y de la corriente del inducido I_A en las entradas E1 e I1 de la DACI, respectivamente. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión de modo que la corriente ca (indicada por el medidor I1 en la ventana Aparatos de medición) sea igual a la mitad de la corriente nominal del inducido que circula en el inducido del Motor/generador cc. Ajuste la palanca de control de la escobilla del Motor/generador cc de modo que sea mínima la tensión que circula a través del bobinado shunt (indicada por el medidor E1 en la ventana Aparatos de medición). Apague la Fuente de alimentación, cierre el software LVDAC-EMS y desconecte todos los cables.

También verifique que las escobillas del Motor universal estén en el punto neutro. Para ello, repita el procedimiento anterior conectando el bobinado serie del motor universal a la entrada de tensión E1 del DACI.

Acople mecánicamente el **Motor/generador cc** al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** mediante una correa de distribución.



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

2. Asegúrese de que el interruptor principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** se encuentre en la posición **O** (apagado), luego conecte la **Entrada de potencia** a una salida de energía ca de la pared.
3. En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal y el de energía ca de 24 V se encuentren en la posición **O** (apagado) y que la perilla de control de tensión indique 0% (girada completamente en sentido antihorario). Conecte la **Fuente de alimentación** a una salida de energía ca trifásica.
4. Conecte la **Entrada de potencia** de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)** a la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

Encienda la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**.

5. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y de control** a un puerto USB de la computadora.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Conecte el puerto USB del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** a un puerto USB de la computadora.

- Conecte el equipo como se muestra en la figura 3-10. Use la salida de tensión cc variable de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_s . $E1$, $I1$ e $I2$ son entradas de tensión y corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**.

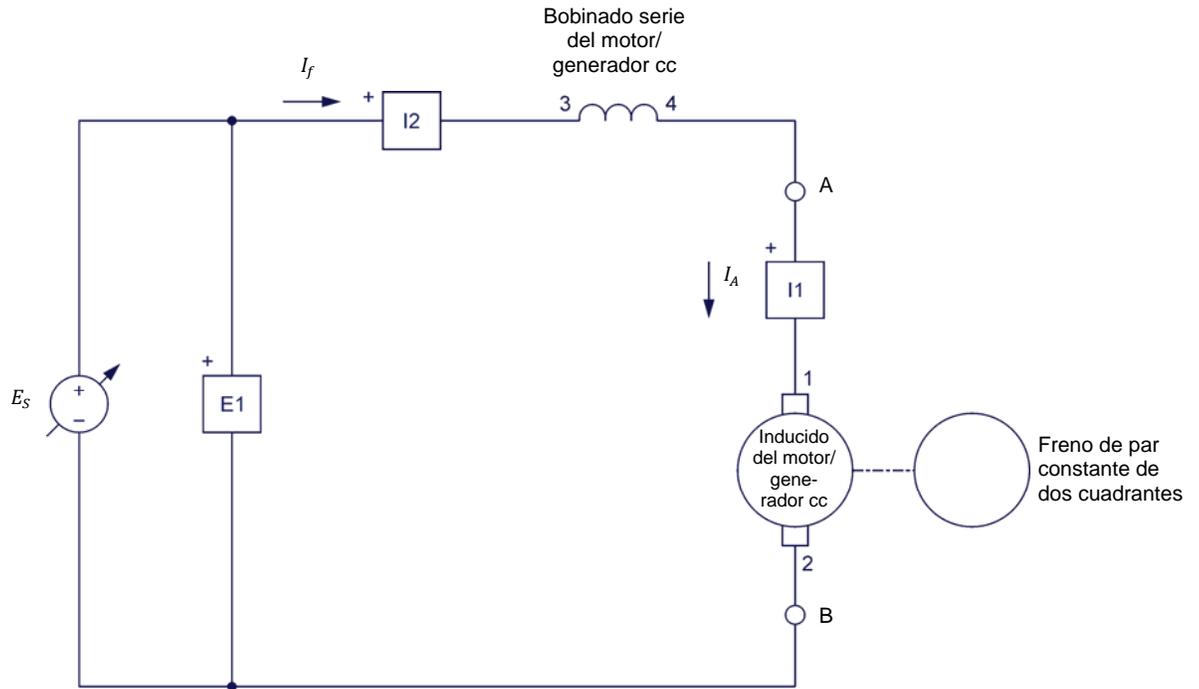


Figura 3-10. Motor serie acoplado a un freno.

- En el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el interruptor *Modo de operación* en *Dinamómetro*. Esta configuración permite que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como motor de impulsión, freno o ambos, según la función seleccionada.

Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido).

- Encienda la computadora y ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Arranque de LVDAC-EMS** asegúrese de que se hayan detectado la **Interfaz de adquisición de datos y de control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Asegúrese de que la función **Instrumentación informatizada** esté disponible para dicha interfaz. Asimismo, seleccione la tensión y frecuencia correspondientes a la tensión y frecuencia de la red eléctrica ca local, luego haga clic en el botón **Aceptar** para cerrar la ventana **Arranque de LVDAC-EMS**.

9. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y luego realice las siguientes configuraciones:
 - Ajuste el parámetro *Función* la opción *Freno de par constante de dos cuadrantes*. Esta configuración hace que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** funcione como un freno de dos cuadrantes con un valor de par que corresponde al parámetro *Par*.
 - Ajuste el parámetro *Relación de la polea* la opción 24:24. Las cifras primera y segunda de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** y la cantidad de dientes de la polea de la máquina que se prueba (es decir, el **Motor/generador cc**), respectivamente.
 - Asegúrese de que el parámetro *Control del par* esté ajustado en *Perilla*. Esto permite controlar manualmente el par del freno de dos cuadrantes.
 - Configure el parámetro *Par* en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).
-  También se puede configurar el comando par mediante la perilla *Par* de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.
- Arranque el *Freno de par constante de dos cuadrantes* ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha* o haciendo clic en el botón *Marcha/Parada*.

10. En el software LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Configure un medidor para registrar la fuente de tensión cc E_S (*E1*). Configure dos medidores para calcular las corrientes del inducido I_A (*I1*) y campo I_f (*I2*) del motor cc.

Haga clic en el botón *Regeneración continua* para habilitar la actualización continua de los valores de los diversos medidores de la aplicación **Aparatos de medición**.

Dirección de rotación de un motor serie cc

En esta sección, usted cambiará la polaridad de las corrientes del inducido y de campo de un motor serie que funciona con energía cc y observará el efecto en la dirección de rotación. También medirá la tensión cc que se necesita para que el motor serie rote a una velocidad de unas 1000 r/min.

11. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido). Gire lentamente la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** hasta que el motor serie rote a una velocidad de 1000 r/min \pm 25 r/min. Verifique que las corrientes del inducido I_A y de campo I_f (indicadas por los medidores *I1* e *I2*, respectivamente) sean de polaridad positiva. Registre la tensión de la fuente E_S (indicada por el medidor *E1*) y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A e I_f de polaridad positiva)

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

- 12.** En la **Fuente de alimentación**, invierta la conexión de los cables en los terminales **7** y **N** para invertir la polaridad de la tensión aplicada al motor serie.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido). Ajuste la perilla de control de tensión hasta que el motor serie rote a una velocidad de 1000 r/min \pm 25 r/min. Verifique que las corrientes del inducido I_A y de campo I_f sean de polaridad negativa. Registre la tensión de la fuente E_S (indicada por el medidor **E1**) y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A e I_f de polaridad negativa)

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

¿Cuál es la dirección de rotación cuando las corrientes del inducido I_A y de campo I_f tienen la misma polaridad?

- 13.** Invierta la conexión de los cables en los puntos A y B de la figura 3-10.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido). Ajuste la perilla de control de tensión de modo que el motor serie rote a una velocidad de 1000 r/min \pm 25 r/min.



Ignore el signo de la velocidad indicada en el medidor **Velocidad** de la ventana **Dinámometro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.

Verifique que la corriente del inducido I_A sea positiva y la de campo I_f , negativa. Registre la tensión de la fuente E_S y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A es positiva, I_f es negativa)

17. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido). Gire lentamente la perilla de control de tensión hasta que el motor serie rote a una velocidad de 1000 r/min \pm 25 r/min. Registre la tensión de la fuente E_S (indicada por el medidor **E1**) y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_{S,rms} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A e I_f de la misma polaridad)

¿Rota el motor serie en la misma dirección que cuando funcionaba con alimentación cc con corrientes I_A e I_f de la misma polaridad (pasos 11 y 12)?

Sí No

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

18. Invierta la conexión de los cables en los puntos A y B de la figura 3-10.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido). Ajuste la perilla de control de tensión de modo que el motor serie rote a una velocidad de 1000 r/min \pm 25 r/min.



*Ignore el signo de la velocidad indicada en el medidor **Velocidad** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.*

Registre la tensión de la fuente E_S y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_{S,rms} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A e I_f de polaridad opuesta)

¿Rota el motor serie en la misma dirección que cuando funcionaba con alimentación cc con I_A e I_f de la polaridad opuesta (pasos 13 y 14)?

Sí No

19. En la **Fuente de alimentación**, gire lentamente la perilla de control de tensión en sentido antihorario hasta que el motor serie deje de rotar.

En la ventana **Aparatos de medición**, configure un medidor para medir la impedancia en las entradas **E1** e **I1** [medidor **RXZ (E1, I1)**]. En ese medidor, seleccione el modo **Z** para medir la impedancia haciendo clic en el botón del medidor **Modo**.

Registre en el espacio en blanco que figura a continuación la impedancia del inducido Z_A del motor serie indicada por el medidor **RXZ (E1, I1)**.

Impedancia del inducido $Z_A = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

Compare la tensión de las fuentes cc y ca E_s necesaria para que el motor serie rote a una velocidad de unas 1000 r/min. Explique brevemente por qué tienen valores diferentes.

- 20.** En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** detenga el **Freno de par constante de dos cuadrantes** ajustando el parámetro **Estado** en la opción **Parado** o haciendo clic en el botón **Marcha/Parada**.

Dirección de rotación de un motor universal que funciona con energía cc

En esta sección, usted cambiará las conexiones para obtener el circuito de motor universal que se muestra en la figura 3-11. Cambiará la polaridad de las corrientes del inducido y de campo del motor universal que funciona con energía cc y observará el efecto en la dirección de rotación. También medirá la tensión cc que se necesita para que el motor universal rote a una velocidad de unas 1000 r/min.

- 21.** Retire la correa de distribución que acopla el **Motor/generador cc** al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.



Antes de acoplar las máquinas rotatorias, asegúrese bien de que la corriente esté cortada para evitar que alguna de ellas arranque de forma accidental.

Acople mecánicamente el **Motor universal** al **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.

- 22.** Modifique la conexión para obtener el circuito de motor universal que se muestra en la figura 3-11. Use la salida de tensión cc variable de la **Fuente de alimentación** para implementar la fuente de energía cc de tensión variable E_s . **E1**, **I1** e **I2** son entradas de tensión y corriente de la **Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI)**.

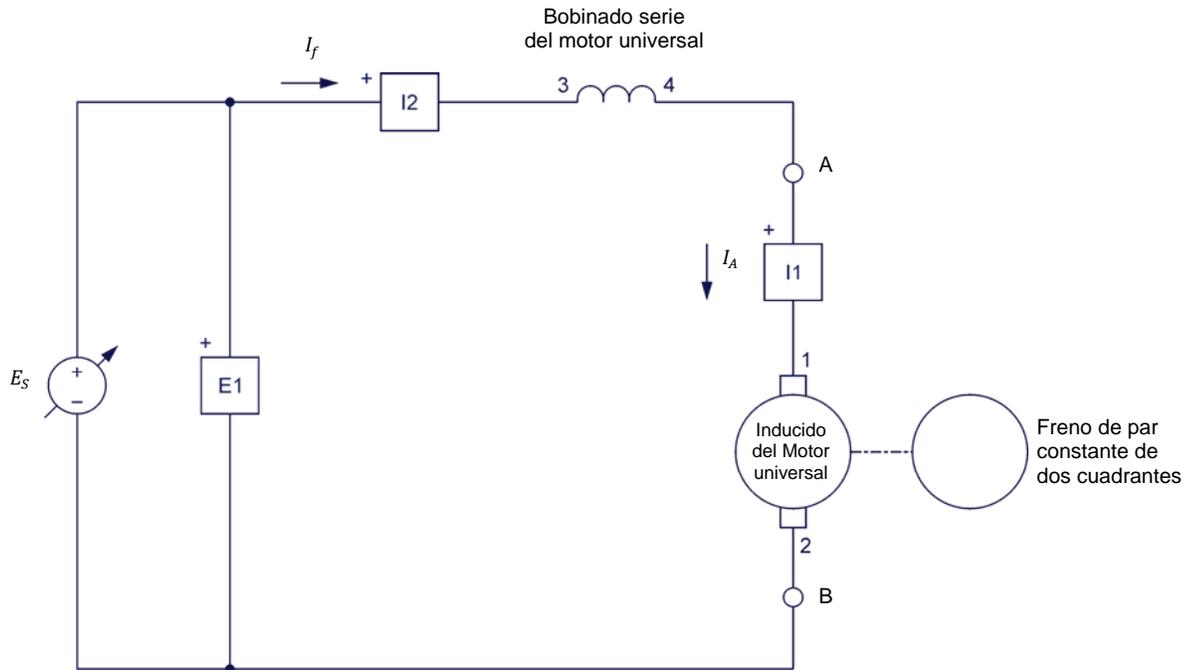


Figura 3-11. Motor universal alimentado con energía cc y acoplado a un freno.

23. En la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), haga las siguientes configuraciones:

- Verifique que en el parámetro *Función* esté seleccionada la opción *Freno de par constante de dos cuadrantes*.
- Asegúrese de que el parámetro *Relación de la polea* esté en 24:24. Las cifras primera y segunda de este parámetro especifican la cantidad de dientes de la polea del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) y la cantidad de dientes de la polea de la máquina que se prueba (es decir, el [Motor universal](#)), respectivamente.
- Configure el parámetro *Par* en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.). Esto configura el comando par del [Freno de par constante de dos cuadrantes](#) en 0,0 N·m (0,0 lbf·pulg.).



También se puede configurar el comando par mediante la perilla *Par* de la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#).

- Arranque el [Freno de par constante de dos cuadrantes](#) ajustando el parámetro *Estado* en la opción *En marcha* o haciendo clic en el botón *Marcha/Parada*.

24. En la ventana [Aparatos de medición](#), asegúrese de que los medidores estén configurados para calcular la tensión de la fuente cc E_s ($E1$), así como las corrientes del inducido I_A ($I1$) y de campo I_f ($I2$) del motor cc.

- 30.** Reemplace la fuente de energía cc de tensión variable del circuito por una fuente de energía ca de tensión variable (terminales **4** y **N** de la **Fuente de alimentación**).

En la ventana **Aparatos de medición**, configure los medidores empleados para calcular la tensión de la fuente E_S (**E1**), las corrientes del inducido I_A (**I1**) y de campo I_f (**I2**) para que muestren valores eficaces (ca).

- 31.** Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido). Gire lentamente la perilla de control de tensión hasta que el **Motor universal** rote a una velocidad de 1000 r/min ± 25 r/min. Registre la tensión de la fuente E_S y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_S, rms = \underline{\hspace{2cm}}$ V (sin bobinado de compensación)

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A e I_f de la misma polaridad)

¿Rota el **Motor universal** en la misma dirección que cuando funcionaba con energía cc con corrientes I_A e I_f de la misma polaridad (pasos 25 y 26)?

Sí No

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

- 32.** Invierta la conexión de los cables en los puntos A y B de la figura 3-11.

Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido). Ajuste la perilla de control de tensión de modo que el **Motor universal** rote a una velocidad de 1000 r/min ± 25 r/min.



*Ignore el signo de la velocidad indicada en el medidor **Velocidad** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**.*

Registre la tensión de la fuente E_S y la dirección de rotación.

Tensión de la fuente $E_S, rms = \underline{\hspace{2cm}}$ V (sin bobinado de compensación)

Dirección de rotación = $\underline{\hspace{2cm}}$ (I_A e I_f de polaridad opuesta)

¿Rota el **Motor universal** en la misma dirección que cuando funcionaba con energía cc con corrientes I_A e I_f de polaridad opuesta (pasos 27 y 28)?

Sí No

- 33.** En la **Fuente de alimentación**, gire lentamente la perilla de control de tensión en sentido antihorario hasta que el **Motor universal** deje de rotar.

En la ventana **Aparatos de medición**, configure un medidor para medir la impedancia en las entradas **E1** e **I1** [medidor **RXZ (E1, I1)**]. En ese medidor, seleccione el modo **Z** para medir la impedancia haciendo clic en el botón del medidor **Modo**. Registre a continuación la impedancia del inducido Z_A del **Motor universal** indicada por el medidor **RXZ (E1, I1)**.

Impedancia del inducido $Z_A = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω (sin bobinado de compensación)

Apague la **Fuente de alimentación** ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición **O** (apagado). (Deje encendida la fuente de energía ca de 24 V de la **Fuente de alimentación**).

Compare la tensión de las fuentes cc y ca E_S necesaria para que el **Motor universal** rote a una velocidad de unas 1000 r/min. Explique brevemente por qué tienen valores diferentes.

Compare las tensiones cc necesarias para que el **Motor universal** y el motor serie roten a una velocidad de unas 1000 r/min.

Compare las tensiones ca necesarias para que el **Motor universal** y el motor serie roten a una velocidad de unas 1000 r/min.

- 34.** Invierta la conexión de los cables en los puntos A y B de la figura 3-11.

Efecto del bobinado de compensación

En esta sección, usted agregará un bobinado de compensación al motor universal. Observará el efecto en el rendimiento del motor universal que funciona con energía ca.

- 35.** Modifique las conexiones para conectar el bobinado de compensación al **Motor universal** como se muestra en la figura 3-12.

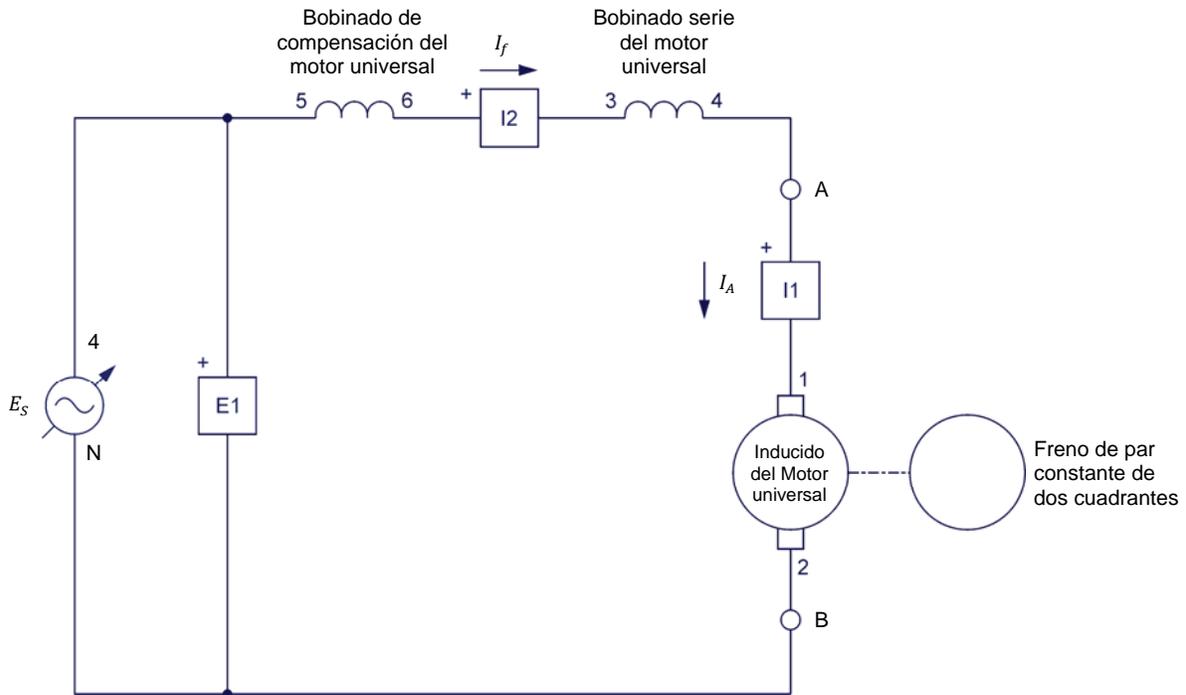


Figura 3-12. Motor universal alimentado con energía ca (con bobinado de compensación) y acoplado a un freno.

36. Encienda la Fuente de alimentación ajustando el interruptor principal en la posición I (encendido). Gire lentamente la perilla de control de tensión hasta que el Motor universal rote a una velocidad de 1000 r/min \pm 25 r/min. Registre la tensión de la fuente E_s .

Tensión de la fuente $E_s, rms = \underline{\hspace{2cm}}$ V (con bobinado de compensación)

En la Fuente de alimentación, gire lentamente la perilla de control de tensión en sentido antihorario hasta que el Motor universal deje de rotar.

Registre en el espacio en blanco que figura a continuación la impedancia del inducido Z_A del Motor universal indicada por el medidor RXZ (E_1 , I_1) en la ventana Aparatos de medición.

Impedancia del inducido $Z_A = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω (con bobinado de compensación)

Apague la Fuente de alimentación ajustando la perilla de control de tensión en 0% y luego el interruptor principal en la posición O (apagado).

Compare la tensión de las fuentes ca E_S que es necesaria para que el **Motor universal** rote, con y sin bobinado de compensación, a una velocidad aproximada de 1000 r/min. Explique brevemente por qué tienen valores diferentes.



Si quiere realizar otros experimentos, saltee el próximo paso y vuelva a él una vez terminados todos los ajustes adicionales.

- 37.** En la **Fuente de alimentación**, asegúrese de que el interruptor principal se encuentre en la posición **O** (apagado) y luego apague la fuente de energía ca de 24 V. Cierre el software **LVDAC-EMS**. Apague el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Desconecte todos los cables y guárdelos.

Experimentos adicionales (optativo)

Características de la relación entre la velocidad y el par de un motor universal alimentado con energía ca

Usted puede obtener las características de la relación entre la velocidad y el par de un motor universal (con bobinado de compensación) alimentado con una fuente de energía ca. Para ello, asegúrese de que la **Fuente de alimentación** esté apagada [interruptor principal en la posición **O** (apagado) y perilla de control de tensión en 0%] y luego verifique que el equipo esté conectado como se muestra en la figura 3-12. En la ventana **Aparatos de medición**, asegúrese de que los medidores estén configurados para mostrar los valores eficaces (ca) de la tensión de la fuente E_S (**E1**), la corriente del inducido I_A (**I1**) y la corriente de campo I_f (**I2**). Abra la **Tabla de datos** y configúrela para registrar los siguientes datos: la tensión de la fuente (**E1**) e I_A (**I1**), así como la velocidad n y el par T del motor (indicados por los medidores **Velocidad** y **Par** de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**). En dicha ventana, asegúrese de que el parámetro **Par** del **Freno de par constante de dos cuadrantes** esté en 0,0 N·m (0,0 lbf-pulg.). Arranque el **Freno de par constante de dos cuadrantes**. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido) y ajuste la perilla de control de tensión de modo que la tensión de la fuente E_S sea igual a la tensión nominal del **Motor universal**. Observe el valor del par motor T (indicado por el medidor **Par** en el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**) y configure el parámetro **Par** con ese valor. Incremente el parámetro **Par** del valor mínimo a unos 2,3 N·m (alrededor de 20,3 lbf-pulg.) en etapas de 0,2 N·m (o 2,0 lbf-pulg.). Para cada configuración de par, vuelva a ajustar la perilla de control de tensión de la **Fuente de alimentación** de modo que la tensión de la fuente E_S sea igual al valor configurado anteriormente, espere a que se establezca la velocidad del motor y luego registre los datos en la **Tabla de datos**. Cuando se hayan registrado todos los datos, apague la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado). Guarde la tabla de datos en un archivo con el nombre DT321. En la ventana **Gráfico**, realice las configuraciones

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

apropiadas para obtener un gráfico de la velocidad n del motor universal en función del par T del motor universal. Titule el gráfico “G321”. Compare las características de la relación entre la velocidad y el par del motor universal (gráfico G321) con las del motor serie cc (gráfico G223 obtenido en el Ejercicio 2-2).



Si la tensión de su red local es de 120 V, en la Interfaz de adquisición de datos y de control utilice el rango de corriente de 40 A para las entradas de corriente I1 e I2.

ATENCIÓN

Es posible que la corriente del inducido supere el valor nominal mientras realiza este ajuste, por lo que es preciso hacerlo en menos de 5 minutos.

Motor shunt cc que funciona con energía ca

Usted puede observar el funcionamiento de un motor shunt conectado a una fuente de energía ca. Para ello, asegúrese de que la **Fuente de alimentación** esté apagada [interruptor principal en la posición **O** (apagado)] y que la perilla de control de tensión indique 0%, luego conecte el circuito del motor shunt como se muestra en la figura 3-13. Use una fuente de energía de tensión variable ca (terminales **4** y neutro **N** de la **Fuente de alimentación**) para la fuente E_S . En la ventana **Aparatos de medición**, asegúrese de que los medidores estén configurados para mostrar los valores eficaces (ca) de la tensión de la fuente E_S (**E1**), las corrientes del inducido I_A (**I1**) y de campo I_f (**I2**). Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido) y gire la perilla de control de tensión en sentido horario hasta que el motor shunt empiece a rotar. Observe la dirección de la rotación. Apague la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado) y la perilla de control de tensión en 0%. Invierta la conexión de los cables en los puntos A y B de la figura 3-13. Encienda la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **I** (encendido) y gire la perilla de control de tensión en sentido horario hasta que el motor shunt empiece a rotar. Observe la dirección de la rotación. Apague la **Fuente de alimentación** ajustando el interruptor principal en la posición **O** (apagado) y la perilla de control de tensión en 0%.

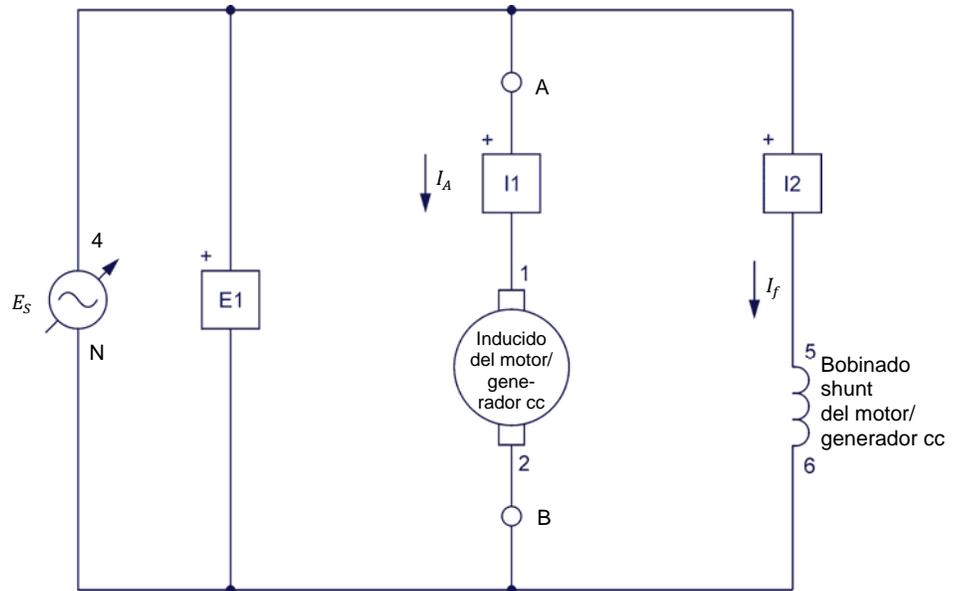


Figura 3-13. Motor shunt alimentado con energía ca.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted demostró que el motor serie cc y el motor universal sin bobinado de compensación funcionan de forma similar, tanto con energía cc como ca. Observó que la dirección de rotación de esos motores depende de la polaridad de las corrientes del inducido y de campo. Aprendió que el rendimiento de estos motores es bastante bajo cuando funcionan con energía ca porque tienen una impedancia del inducido Z_A relativamente alta. Observó que se puede mejorar en gran medida el rendimiento de un motor universal que funciona con energía ca agregando un bobinado de compensación que reduce la impedancia del inducido Z_A .

Si llevó a cabo los experimentos adicionales, usted graficó la relación entre la velocidad y el par de un motor universal alimentado con energía ca y con un bobinado de compensación. Aprendió que las características de la relación entre la velocidad y el par de este motor son similares a las de un motor serie cc, es decir, la velocidad disminuye de forma rápida y no lineal con el aumento del par. Verificó que un motor shunt cc puede funcionar con energía ca.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Qué efecto causa en su dirección de rotación la inversión de las conexiones de energía cc de un motor serie?

2. ¿Qué efecto causa en su dirección de rotación la inversión de las conexiones del bobinado del inducido de un motor serie?

3. Un motor universal es un motor serie cc con un bobinado de compensación. ¿Con qué tipo de energía (ca o cc) funciona?

4. El bobinado de compensación de un motor universal, ¿qué ayuda a reducir?

5. Cuando se invierten las conexiones del inducido de un motor universal, ¿qué ocurre con la dirección de rotación del motor?

Examen de la unidad

1. La reacción de inducido en una máquina cc
 - a. se debe al aumento de la tensión del inducido.
 - b. se produce cuando el motor está conectado a una fuente de energía ca.
 - c. se produce cuando el motor está conectado a una fuente de energía cc.
 - d. se debe al aumento de la corriente del inducido.

2. La reacción de inducido modifica las características de una máquina cc porque
 - a. aumenta el desgaste de las escobillas y el colector.
 - b. afecta el campo magnético producido por el electroimán de campo.
 - c. causa saturación.
 - d. las respuestas a y b son correctas.

3. La reacción de inducido hace disminuir la tensión de salida de un generador cc porque
 - a. aumenta el desgaste de las escobillas y el colector.
 - b. causa saturación.
 - c. demora la tensión inducida a través del bobinado del inducido.
 - d. todas las respuestas anteriores.

4. Un motor cc de imán permanente tiene mejores características que los motores con excitación independiente, shunt y serie porque
 - a. el campo magnético producido por el imán permanente es tan fuerte que prácticamente no puede verse afectado por ninguna otra fuente magnética.
 - b. el inducido tiene baja inductancia.
 - c. tiene un bobinado de compensación.
 - d. las respuestas a y b son correctas.

5. Se produce saturación en una máquina cc cuando
 - a. la tensión del inducido aumenta y supera el valor nominal.
 - b. el motor está conectado a una fuente de energía ca.
 - c. la corriente de campo excede el valor nominal.
 - d. la corriente del inducido excede el valor nominal.

6. Se selecciona el valor nominal de la corriente de campo de una máquina cc para que esté al inicio del codo de saturación a fin de
 - a. garantizar que la relación entre la velocidad y la tensión sea lineal.
 - b. garantizar que la relación entre la velocidad y la corriente sea lineal.
 - c. obtener el mayor valor de par posible con una corriente de campo del menor valor posible.
 - d. las respuestas a y b son correctas.

7. ¿Por qué es casi imposible obtener un rendimiento satisfactorio de un motor shunt conectado a una fuente de energía ca?
- porque el bobinado shunt tiene una gran cantidad de vueltas.
 - porque el bobinado shunt tiene inductancia elevada.
 - porque es difícil para la corriente alterna circular por el bobinado shunt.
 - todas las respuestas anteriores.
8. La dirección de rotación de un motor serie cc o un motor universal conectado a una fuente de energía cc depende
- de la polaridad de las corrientes del inducido y de campo.
 - solo de la polaridad de la corriente del inducido.
 - solo de la polaridad de la corriente de campo.
 - de la conexión del bobinado de compensación.
9. La tensión ca necesaria para que un motor serie rote a una velocidad dada es mayor que la tensión cc que hace falta para que el mismo motor gire a la misma velocidad. Esto se debe a que
- se produce la reacción de inducido cuando el motor funciona con energía ca.
 - la impedancia del inducido del motor es relativamente alta.
 - se produce saturación cuando el motor funciona con energía ca.
 - las respuestas a y b son correctas.
10. Se puede mejorar el rendimiento de un motor serie que funciona con energía ca
- agregando un bobinado de compensación que aumente la reactancia del inducido.
 - agregando imanes permanentes.
 - agregando un bobinado de compensación que disminuya la reactancia del inducido.
 - ninguna de las respuestas anteriores.

Tabla de utilización del equipo

Para llevar a cabo los ejercicios de este manual se necesitan los siguientes equipos:

Equipo		Ejercicio					
Modelo	Descripción	1-1	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2
8134 ⁽¹⁾	Puesto de trabajo	1	1	1	1	1	1
8211	Motor/generador cc	1	1	1	1	1	1
8254	Motor universal						1
8311 ⁽²⁾	Módulo Carga resistiva	1		1	1	1	
8821	Fuente de alimentación	1	1	1	1	1	1
8942	Correa de distribución	1	1	1	1	1	1
8951-L	Cables de conexión	1	1	1	1	1	1
8960-C ⁽³⁾	Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	1	1	1	1	1	1
8990	Computadora	1	1	1	1	1	1
9063-B ⁽⁴⁾	Interfaz de adquisición de datos y de control	1	1	1	1	1	1

(¹) También se puede usar el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110-2.
 (²) Unidad Carga resistiva con tensión nominal correspondiente a la tensión de la red de alimentación ca local. Utilice la variante del modelo -00, -01, -02, -05, -06, -07 o 0A.
 (³) El modelo 8960-C está compuesto por el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, modelo 8960-2, con los conjuntos Funciones estándares (control manual), modelo 8968-1, y Funciones estándares (control computarizado), modelo 8968-2.
 (⁴) El modelo 9063-B está compuesto por la Interfaz de adquisición de datos y de control, modelo 9063, con el conjunto de funciones Instrumentación computarizada, modelo 9069-1.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice de términos nuevos

corriente de campo	La corriente de campo es la corriente cc que produce el campo magnético fijo de una máquina rotatoria.
dinamómetro	Un dinamómetro es un dispositivo que se emplea para medir el par producido por una máquina rotatoria.
eficiencia del motor	La eficiencia η de un motor eléctrico es la relación entre la potencia mecánica P_m producida por el motor y la energía eléctrica P_{in} suministrada al motor, $\eta = P_m/P_{in}$.
electroimán	Un electroimán es un dispositivo que produce un campo magnético cuando a través de él circula corriente eléctrica. Un ejemplo característico de electroimán es una bobina de alambre enrollada alrededor de un núcleo de hierro.
escobillas	Las escobillas son bandas, palas o bloques, por lo general de metal o carbón, colocados en el estátor de una máquina rotatoria que permiten un contacto deslizante con el colector o los anillos colectores del rotor. Las escobillas permiten que fluya corriente entre el estátor y el rotor de una máquina rotatoria.
estátor	Un estátor es la parte no rotatoria de un motor o generador eléctrico.
fuerza magnética	Fuerza de atracción o repulsión entre polos magnéticos. Los polos iguales se repelen. Los polos opuestos se atraen.
generador eléctrico	Un generador eléctrico es una máquina rotatoria que convierte energía mecánica en energía eléctrica mediante el proceso de inducción electromagnética.
generador cc autoexcitado	Generador cc que funciona sin fuente de energía cc. El electroimán de campo es un bobinado shunt conectado a través de la salida del generador (generador shunt) o una combinación de un bobinado shunt conectado a través de la salida del generador y un bobinado serie conectado en serie con la salida del generador (generador compound). La tensión de salida y/o la corriente del generador excita(n) el electroimán de campo.
inducción electromagnética	La inducción electromagnética consiste en la producción de una fuerza electromotriz (por ejemplo, una tensión inducida E_{EMF}) en un circuito que resulta de un cambio en el flujo magnético que pasa por ese circuito.
inducido	Un inducido es la parte rotatoria de un motor o generador eléctrico.
motor ca	Un motor ca es un motor eléctrico alimentado por una fuente de energía de corriente alterna (ca).
motor compound diferencial	Un motor cc con bobinados shunt y serie conectados de modo que el flujo magnético de uno se resta del flujo del otro. Este tipo de motor compound no se utiliza con frecuencia porque el motor se vuelve inestable cuando aumenta la corriente del inducido.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

motor de impulsión	Un motor de impulsión es la fuente principal de potencia mecánica para cualquier sistema mecánico que requiera fuerza para impulsar engranajes, correas, volantes, etc.
motor eléctrico	Un motor eléctrico es una máquina rotatoria que convierte energía eléctrica en energía mecánica mediante el proceso de inducción electromagnética y la interacción de campos magnéticos.
motor serie	El motor serie es un motor cuyo electroimán de campo consiste en un bobinado serie conectado en serie con el inducido.
motor shunt	Motor cc cuyo electroimán de campo es un bobinado shunt conectado en paralelo al inducido; ambos están conectados a la misma fuente de tensión cc.
motor cc	Un motor cc es un motor eléctrico alimentado por una fuente de energía de corriente continua (cc).
motor cc con excitación independiente	Motor cc cuyo electroimán del estátor recibe energía de una fuente independiente de energía cc, ya sea de tensión fija o variable.
par	El par T es la fuerza de torsión que se aplica a un objeto. Se puede expresar en newton-metros (N·m) o en libras-fuerza-pulgada (lbf·pulg.). La energía eléctrica aplicada a un motor produce un par que hace rotar el motor; un generador rota gracias al par que aplica a su eje un motor de impulsión, una correa o un engranaje.
polos magnéticos	Los polos magnéticos son la parte del imán donde salen o entran las líneas de fuerza magnética y donde las líneas de fuerza están más concentradas. Por convención, las líneas de fuerza magnética salen del polo norte magnético y entran por el polo sur magnético.
potencia mecánica	La potencia mecánica P_m producida por un motor; se expresa en vatios (W). La potencia mecánica se calcula dividiendo el producto de la velocidad n y el par T del motor por 9,55 cuando la velocidad y el par están expresados en r/min y N·m, respectivamente. La potencia mecánica se calcula dividiendo el producto de la velocidad y el par del motor por 84,51 cuando la velocidad y el par están expresados en r/min y lbf·pulg., respectivamente.
rotor	El rotor corresponde a la parte rotatoria de una máquina rotatoria. El rotor es el componente del motor que produce el trabajo mecánico.
velocidad de rotación	La velocidad n de una máquina rotatoria es la cantidad de vueltas que da la máquina por unidad de tiempo. Normalmente se expresa en revoluciones por minuto (r/min).

Tabla de impedancia para los módulos de carga

La siguiente tabla lista los valores de impedancia que pueden obtenerse usando la Carga resistiva, modelo 8311, la Carga inductiva, modelo 8321, y la Carga capacitiva, modelo 8331. La figura C-1 muestra los elementos de carga y sus conexiones. Se pueden utilizar otras combinaciones en paralelo para obtener los mismos valores de impedancia listados.

Tabla 1-C. Tabla de impedancia para los módulos de carga.

Impedancia (Ω)			Posición de los interruptores								
120 V 60 Hz	220 V 50 Hz/60 Hz	240 V 50 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1200	4400	4800									
600	2200	2400									
300	1100	1200									
400	1467	1600									
240	880	960									
200	733	800									
171	629	686									
150	550	600									
133	489	533									
120	440	480									
109	400	436									
100	367	400									
92	338	369									
86	314	343									
80	293	320									
75	275	300									
71	259	282									
67	244	267									
63	232	253									
60	220	240									
57	210	229									

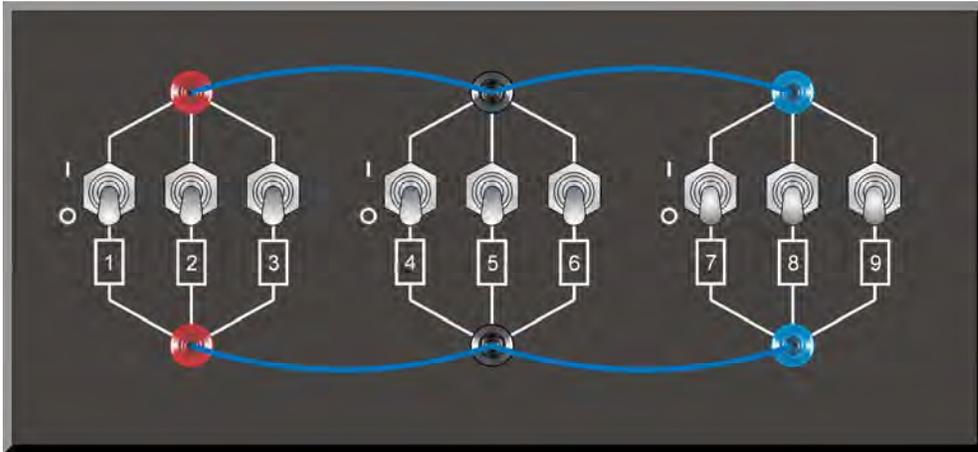


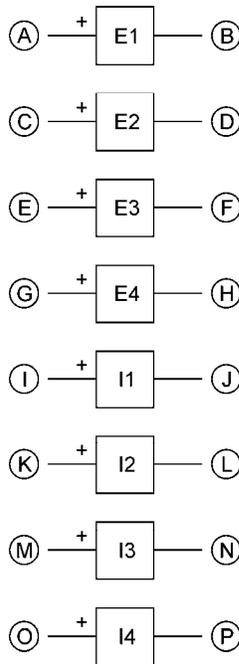
Figura 1-C. Ubicación de los elementos de carga en la Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva, modelos 8311, 8321 y 8331, respectivamente.

Símbolos de los diagramas de circuitos

En los diagramas de circuitos de este manual se utilizan diferentes tipos de símbolos. Cada símbolo es la representación funcional de un dispositivo eléctrico específico que se puede implementar con los equipos. El empleo de estos símbolos simplifica de manera importante las interconexiones que se deben mostrar en los diagramas de los circuitos y, por lo tanto, facilita la comprensión del funcionamiento de esos circuitos.

Para cada símbolo, a excepción de los que representan fuentes de alimentación, resistores, inductores y condensadores, este apéndice da el nombre del dispositivo que el símbolo representa así como los equipos requeridos y las conexiones necesarias para conectar adecuadamente cada dispositivo al circuito. Observe que los terminales de cada símbolo están identificados mediante letras encerradas en un círculo. Esas mismas letras identifican los terminales correspondientes del diagrama de Equipos y conexiones. Tenga en cuenta además, que cuando el diagrama de Equipos y conexiones contiene cifras, éstas corresponden a los números de terminales serigrafiados en el equipamiento real.

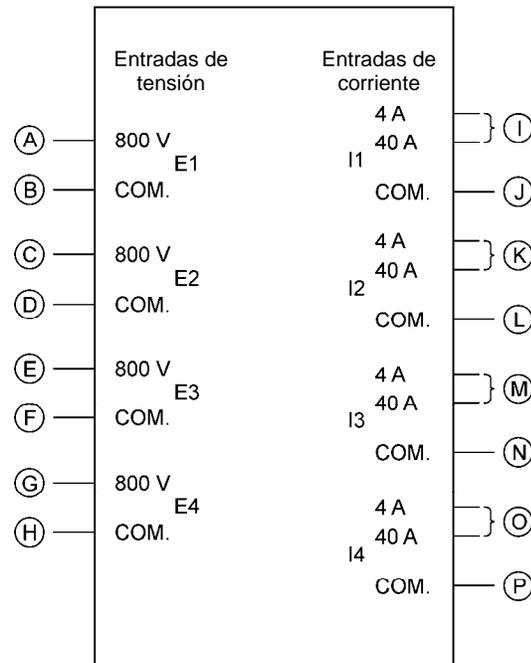
Símbolo



Entradas aisladas para medición de tensión y corriente

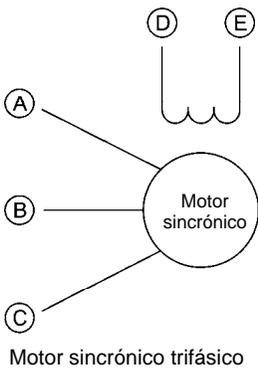
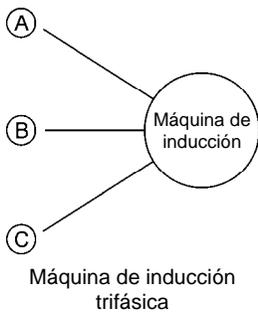
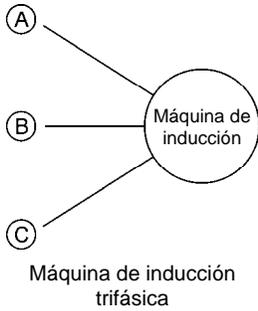
Equipos y conexiones

Interfaz de adquisición de datos y de control (9063)

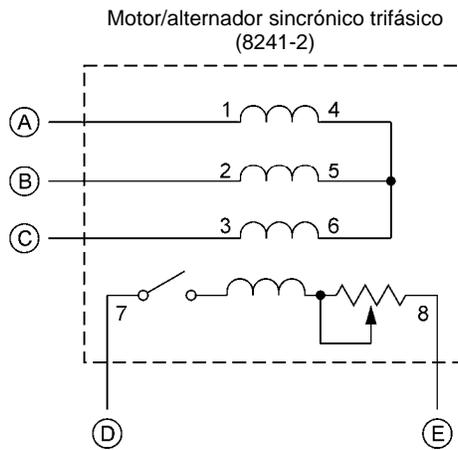
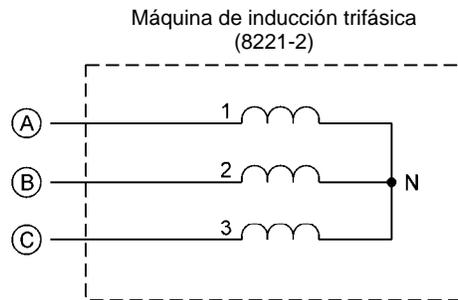
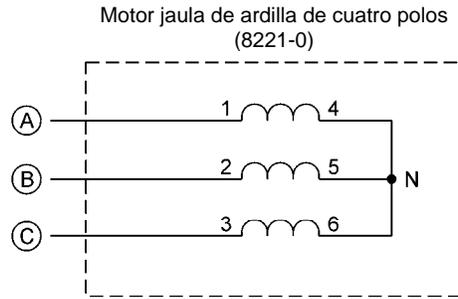


Cuando la corriente de una de las entradas I1, I2, I3 o I4 supera los 4 A de forma permanente o momentánea, utilice el terminal de entrada de 40 A y ajuste el parámetro Gama de la entrada correspondiente en Alta en la pantalla Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control del software LVDAC-EMS.

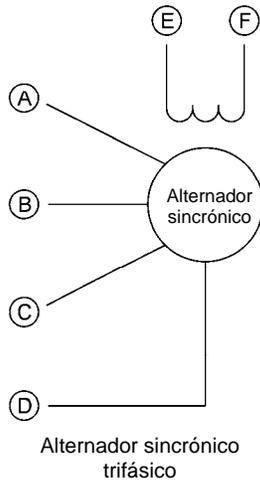
Símbolo



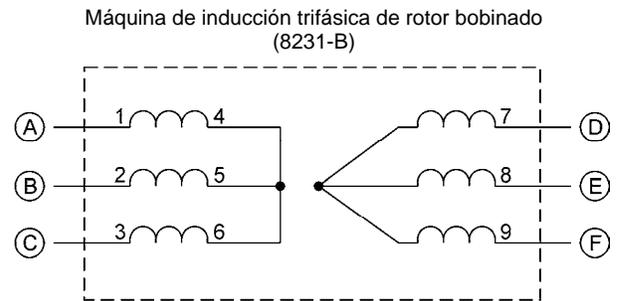
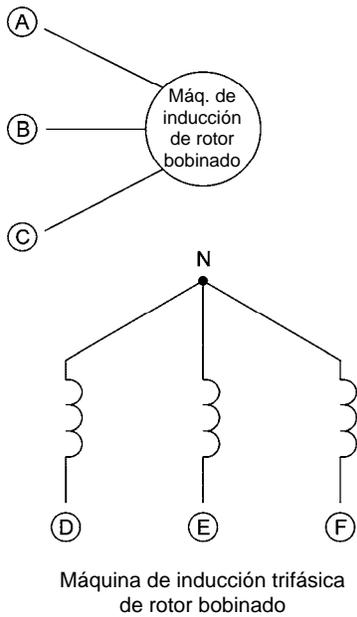
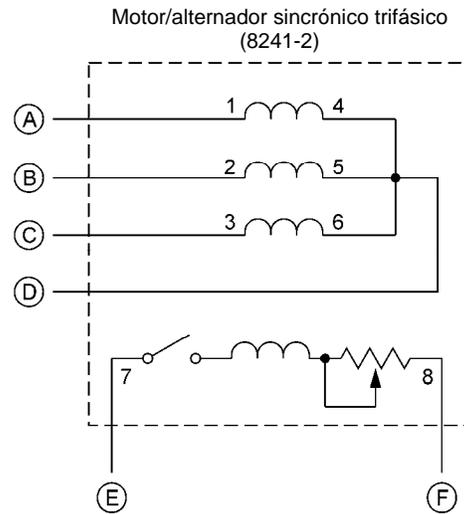
Equipos y conexiones



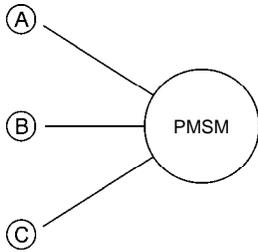
Símbolo



Equipos y conexiones



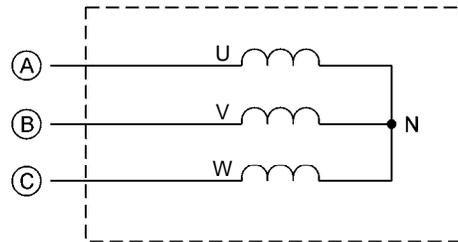
Símbolo



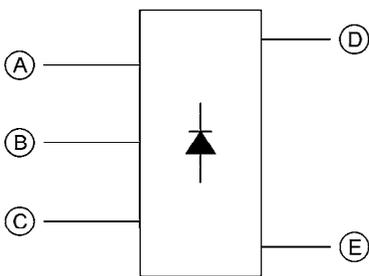
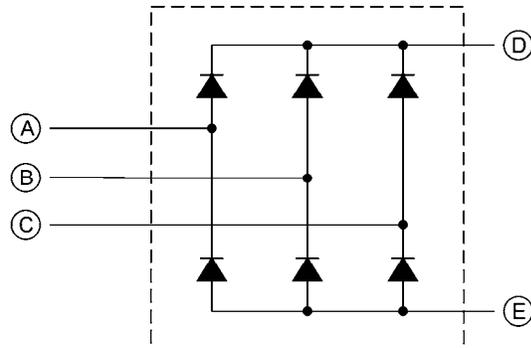
Máquina sincrónica de imán permanente

Equipos y conexiones

Máquina sincrónica de imán permanente (8245)

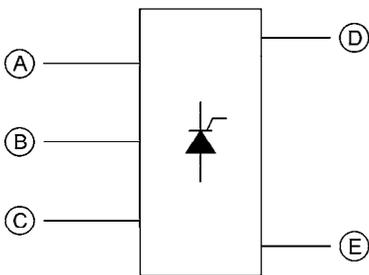
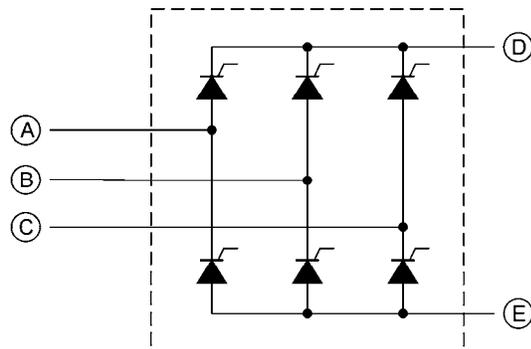


Rectificador y condensadores de filtrado (8842-A)



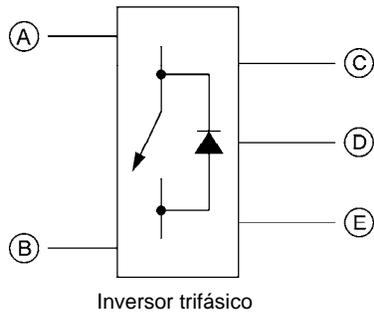
Rectificador trifásico de onda completa con diodos de potencia

Tiristores de potencia (8841)

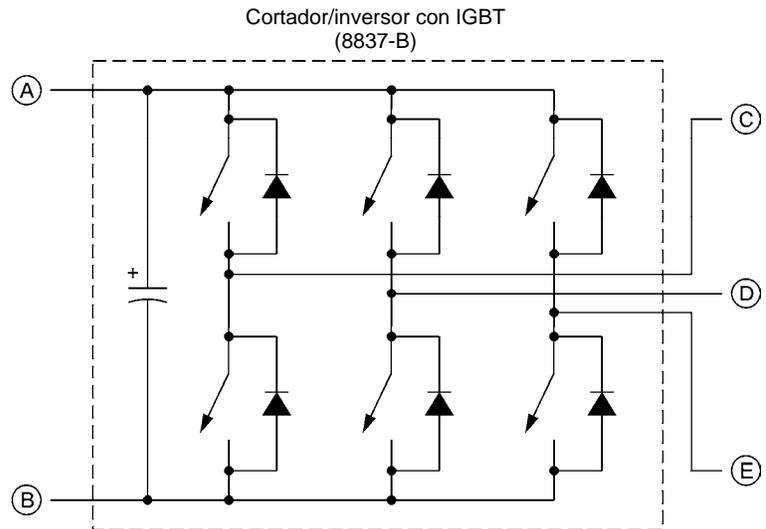


Puente trifásico de tiristores de potencia

Símbolo



Equipos y conexiones



Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice de términos nuevos



El número de página en negrita indica la entrada principal. Consulte las definiciones de los términos nuevos en el Apéndice B.

colector.....	37 , 38, 39, 40, 41, 42, 109, 111
corriente de campo	46 , 63, 64, 66, 67, 85, 87, 88, 107, 112, 113, 127
dinamómetro	15
eficiencia del motor	13
electroimán.....	3 , 4, 7, 8, 38, 39, 40, 45, 46, 63, 64, 65, 66, 85, 87, 88, 109, 112, 113, 127
escobillas	14, 37 , 38, 39, 40, 41, 42, 46, 109, 111
estátor	7, 8, 10, 40 , 45, 46, 63, 64, 85, 87, 127, 128
fuerza magnética.....	1
generador cc autoexcitado.....	87
generador cc con excitación independiente	84 , 85, 87, 88, 110
generador eléctrico	7
inducción electromagnética	3 , 7 , 8
inducido ..	37 , 38, 46, 47, 48, 49, 63, 64, 65, 66, 67, 85, 86, 87, 88, 107, 109, 110, 111, 112, 127, 128
motor ca	1
motor cc ...	1 , 13, 14, 15, 37, 38, 45, 46, 47, 48, 49, 63, 64, 66, 67, 68, 83, 84, 85, 86, 107, 111, 112, 113, 127
motor cc con excitación independiente.....	46 , 63, 64, 66, 68, 83, 85, 86, 107
motor compound acumulativo.....	67 , 68
motor compound diferencial.....	67
motor de impulsión.....	16 , 17, 18
motor eléctrico.....	1 , 13, 40
motor serie	65 , 68, 107, 128
motor shunt	66 , 67, 68, 128
par	11 , 12, 13, 15, 16, 17, 18, 46, 48, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 84, 85, 107, 109, 110, 112, 127
polo magnético.....	3
potencia mecánica	13 , 14, 16, 18, 107
rotor	7 , 8, 37, 38, 39, 40, 42, 45, 127
velocidad de rotación	12 , 17, 42, 47, 49, 109

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Bibliografía

Boylestad, Robert L., *Introductory Circuit Analysis*, 11ª edición, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006, ISBN 978-0131730441.

Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 6ª edición, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005, ISBN 978-0131776913.