

Motor de Corriente Continua

Actividad previa en LVSIM



Fig. 1 Motor de Corriente Continua

1. OBJETIVOS A LOGRAR:

- Medir parámetros eléctricos del Motor CC en diferentes tipos de conexiones.
- Realizar las diversas configuraciones del Motor CC y medir sus parámetros de operación.
- Plantear las ecuaciones de operación del Motor CC en las diversas configuraciones.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO:

Si bien el empleo de los generadores CC es prácticamente obsoleto, los motores CC se continúan usando, a pesar de su costo relativamente alto y de sus exigencias de mantenimiento. Esto se debe a la ventaja de los motores CC frente a los motores AC en cuanto al mayor grado de flexibilidad para el control de la velocidad y el torque.

Si bien esta desventaja de los motores asíncronos ha sido superada con el uso de los variadores de velocidad, el motor CC seguirá siendo el más indicado para ciertas aplicaciones debido a su muy especial característica torque – velocidad

Por ejemplo, un motor AC que impulsa fuertes cargas tiende generalmente a frenar cuando la carga supera el doble de su valor nominal. En cambio, un motor CC puede

proporcionar un torque tres veces mayor que el nominal durante períodos cortos, y durante lapsos muy breves, por ejemplo, de 3 a 4 segundos es capaz de proporcionar un torque hasta cinco veces el torque nominal. Otra ventaja de los motores CC es también la posibilidad del uso de baterías como fuente de tensión.

Los maquinas CC pueden trabajar ya sea como motor o como generador sin requerir ninguna modificación especial (lo cual es otra ventaja con respecto a las máquinas CA).

2.1. PARTES PRINCIPALES DE UN MOTOR CC

Este tipo de motores consta de dos partes principales:

- Campo o inductor
- Armadura o inducido.

El inductor generalmente es la parte fija o estator y la armadura suele ser la parte giratoria o rotor. En el campo van montados los polos inductores, con sus bobinas de excitación.

En la armadura están situadas (colocadas) las bobinas del rotor. La armadura tiene un dispositivo llamado colector (conmutador) y está formado por láminas o delgas de cobre electrolítico donde se conectan las bobinas de la armadura. Sobre el colector se apoyan los carbones (escobillas) mediante los cuales se conecta el campo, armadura y luego con la fuente de alimentación.

En la Fig. 2 se da la ilustración del campo o (inductor) y armadura o (inducido) de una máquina de CC.

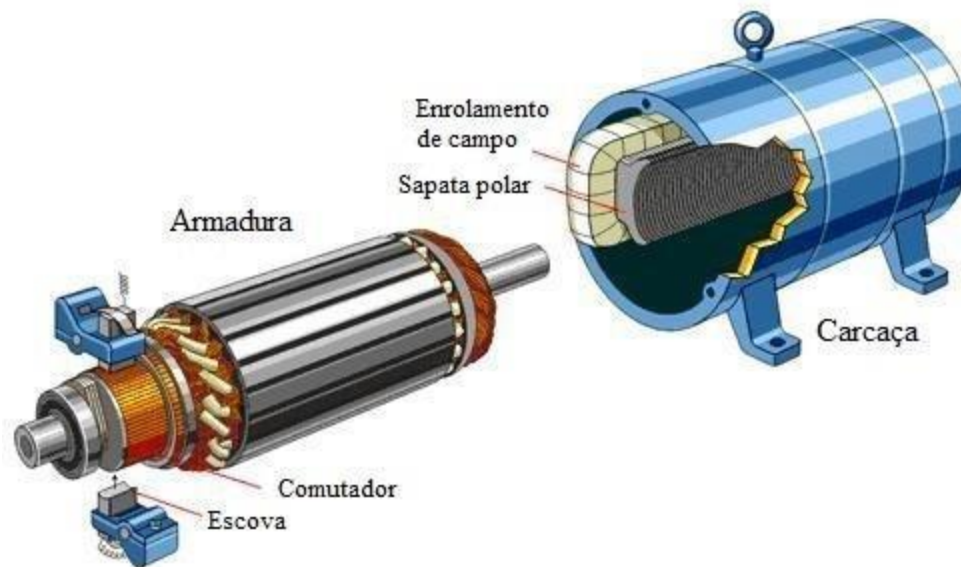
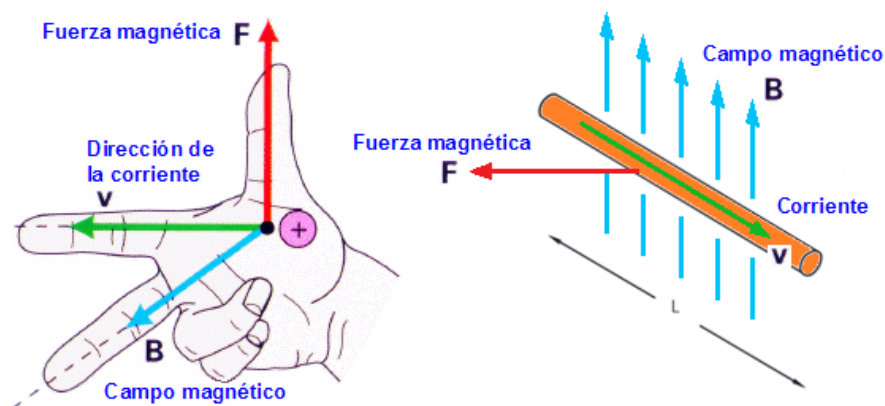


Fig. 2. Partes principales de una máquina de CC.

2.2. PRINCIPIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR CC.

Es dado por la bien conocida ley de Lorentz $F = I * (L * B)$. El cual enuncia que cuando un conductor de longitud L y transportando una corriente " i " es colocado en un campo magnético B , una fuerza F es ejercida sobre dichos conductores sentido de la fuerza ejercido sobre el conductor es determinado por la regla de la mano izquierda (corriente convencional)



$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Fig. 3. Regla de la mano izquierda y fuerza sobre un conductor con corriente

Ahora, en el motor CC la corriente en el bobinado de campo produce el campo magnético principal para la máquina. Este campo es fijo en el espacio y no varía con el tiempo excepto durante perturbaciones transitorias. En el bobinado de armadura, en el caso de funcionamiento como motor, la acción conmutadora del colector y de las escobillas controla la distribución de corriente en la armadura.

En la Fig.4 se puede observar la distribución de corrientes en la armadura de la manera que son distribuidos por el conmutador y las escobillas, donde \otimes nos indica una corriente entrando, y \odot nos indica una corriente saliendo.

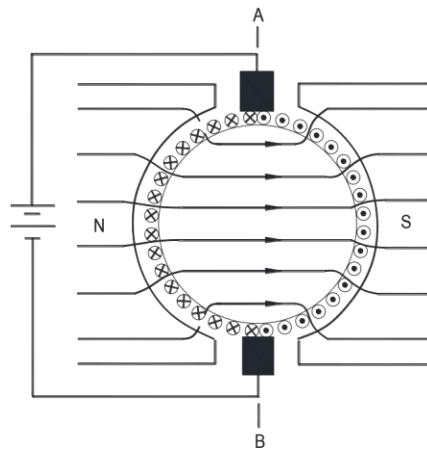


Fig. 4. Distribución de corrientes en las bobinas de armadura en un motor CC

Los conductores en la mitad derecha están bajo el polo sur y los conductores en el lado izquierdo están bajo el polo norte. Aplicando la regla de la mano izquierda, observamos que sobre cada conductor actúa una fuerza. Estas fuerzas se adicionan y producen un torque que hará desplazar a la armadura en sentido antihorario en este caso.

Ahora, también se sabe que un voltaje o fuerza electromotriz (f.e.m.) es inducido en los conductores de la armadura cuando estos cortan las líneas de fuerza de un campo magnético.

En el gráfico siguiente Fig. 5, la tensión de alimentación del motor V_t y la intensidad del inducido I_a tiene el mismo sentido, pero opuesto al de la f.e.m. inducida E_a .

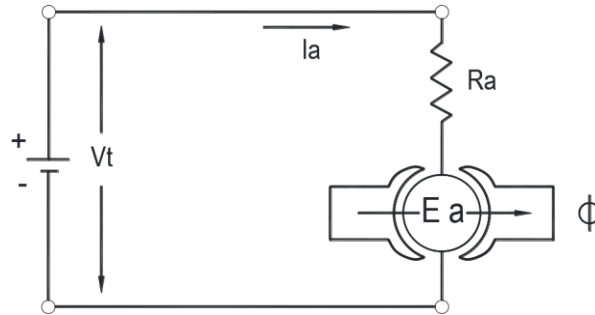


Fig. 5. Fuerza contraelectromotriz en un motor CC.

Esta tensión generada en oposición, es la causa primaria de las relaciones de control automático de velocidad y de torque de un motor que funciona en condiciones de carga variables. Entonces tendremos la ecuación.

$$V_t - E_a = R_a * I_a$$

En el instante de arranque, E_a es nula (la armadura no está en rotación); por lo tanto, debe instalarse una resistencia externa en serie con el devanado de armadura (cuya propia resistencia R_a es baja) para contrarrestar la carencia de f.c.e.m. y evitar exceso de corriente.

$$I_{arr} = \frac{V_t - E_a}{R_a} = \frac{V_t}{R_a + R_{arr}}$$

A medida que el motor va acelerando, la resistencia de arranque puede ser gradualmente eliminada ya que E_a va aumentando, hasta que finalmente toda resistencia externa queda eliminada dejando al motor directamente conectado a la línea y girando a plena velocidad.

En la práctica E_a es de 80 a 97% de la tensión V_t . La diferencia entre V_t y E_a es debido a las pérdidas en el cobre de la armadura.

E_a es proporcional a la velocidad de rotación ω del motor y al flujo por polo del motor ϕ .

$$E_a = K_1 * \omega * \phi$$

Donde K_1 es una constante para la máquina dada.

La potencia desarrollada por un motor debe ser suficiente para impulsar su carga mecánica y vencer sus propias pérdidas mecánicas

El torque electromagnético está dado por:

$$T = K_1 * I_a * \phi$$

Donde K_1 es una constante para la máquina dada y I_a es la corriente en la armadura.

De las ecuaciones anteriores podemos despejar la velocidad y observamos que esta se ve afectada por el cambio del flujo y por la tensión de armadura, luego tenemos:

$$\omega = \frac{V - R_a * I_a}{K_a * \phi}$$

En esta última ecuación se observan los métodos típicos para controlar la velocidad del motor.

2.3. REACCIÓN DE ARMADURA

La corriente al circular por el bobinado de campo crea el campo magnético principal en el motor y como por el inducido o armadura del motor también circula corriente, se producirá alrededor de las bobinas del inducido un campo magnético a raíz de esta corriente. Este campo del inducido distorsiona y debilita el campo magnético principal. Cuando un motor funciona sin carga esta distorsión es despreciable ya que la corriente en el inducido es bastante pequeña, pero a medida que la carga se incrementa hasta su valor nominal se producirá una fuerte distorsión y debilitamiento del campo magnético principal. En la Fig.6a observamos en vacío el \emptyset que es el flujo del campo magnético principal no se ve distorsionado. Luego al aumentar la carga la corriente en la armadura se produce un flujo \emptyset_2 (Fig.6b), al superponerse al \emptyset_1 crea un flujo resultante \emptyset_3 (Fig.6c)

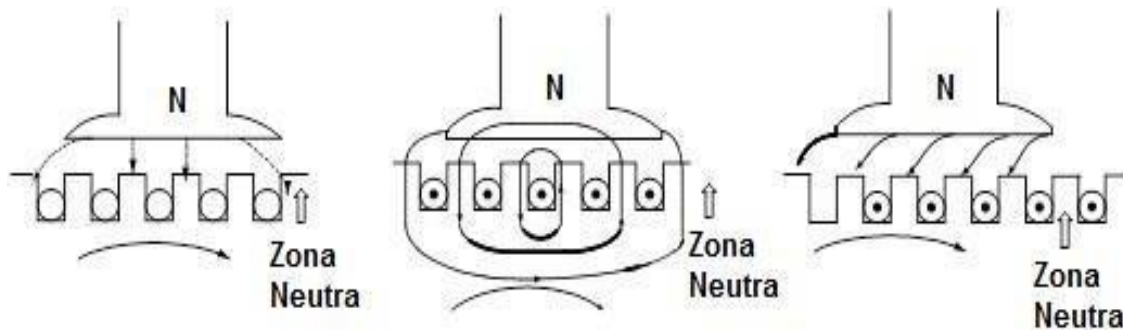


Fig.6 -a. Distribución del flujo en un Motor de CC. sin carga

Fig. 6-b. Flujo debido solo a la corriente de armadura del motor CC

Fig. 6-c. Flujo resultante del motor de CC a plena carga

Fig. 6. Reacción de Armadura.

2.4. PÉRDIDAS EN UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

- P_{ele} : Potencia eléctrica absorbida por la armadura del motor
- P_{exc} : Pérdidas en el circuito de excitación
- P_{esc} : Pérdidas en los contactos de las escobillas
- P_{Cu} : Pérdidas en el cobre de la armadura
- P_a : Potencia electromagnética desarrollada por la máquina
- P_{Fe} : Pérdidas en el hierro
- P_{mec} : Pérdidas mecánicas de rozamiento y ventilación
- P_u : Potencia útil

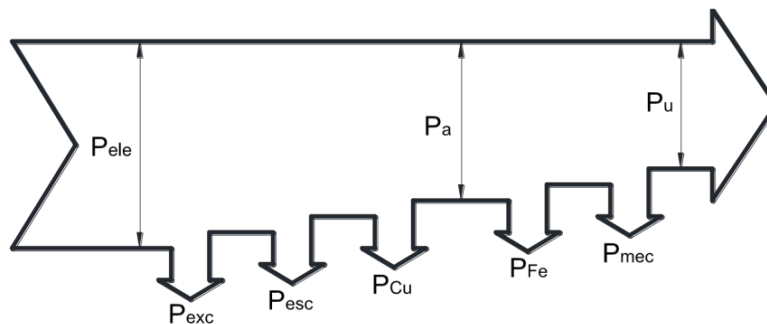


Fig. 7. Balance de pérdidas de potencia en motores CC

2.5. TIPOS DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

La característica de torque-velocidad del motor debe ser adaptada al tipo de carga que este tiene que controlar y este requerimiento dado lugar a 4 básicos tipos de motores con respecto a la conexión del bobinado de campo:

- a) Motor tipo shunt o paralelo, campo conectado en paralelo a la armadura
- b) Motor tipo serie, campo conectado en serie a la armadura
- c) Motor tipo compound o compuesto, una combinación de los 2 anteriores
- d) Motor de excitación independiente

2.6. MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA TIPO SHUNT.

Es el motor CC de uso más frecuente. En este caso el bobinado de campo se coloca en paralelo al bobinado de armadura. La corriente de campo es pequeña comparado con la corriente de armadura.

El bobinado de campo estará compuesto entonces de muchas vueltas (espiras) de un conductor de cobre cuya sección es menor que la sección del conductor del bobinado de armadura. El motor de tipo shunt se caracteriza porque su velocidad se modifica muy poco cuando varía la carga; la velocidad rara vez decrece más del 5%.

La velocidad de este tipo de motor puede modificarse cambiando la corriente de campo o el voltaje de armadura (Vea en la fórmula).

$$\omega = \frac{V_t - R_a * I_a}{K'_a * I_{ex}}$$

El control de la velocidad por variación de la corriente de campo es el más simple y barato. Para variar la corriente de campo, y de aquí variar el flujo del campo, se conecta un reóstato en serie con el bobinado de campo. Si incrementamos el valor de la resistencia del circuito de campo entonces la corriente de campo disminuye, el flujo de campo disminuye y la velocidad aumenta y viceversa, si reducimos el valor de la resistencia del campo, la velocidad disminuye.

Se debe tener cuidado entonces de que el circuito de campo por alguna razón se desconecte o que la corriente de campo caiga a bajos valores, peligrosos porque la velocidad del motor entonces va alcanzar altos valores peligrosos a causa del debilitamiento del campo.

Otro método de controlar la velocidad es colocar un reóstato en serie con la armadura. La caída de voltaje en el reóstato se sustrae del voltaje de alimentación fijo (V_a), produciendo un voltaje más pequeño a través de la armadura reduciendo entonces la velocidad.

Este método es poco utilizado por las pérdidas de potencia que se producen en el reóstato lo que da lugar a la disminución de la eficiencia del motor.

El método de control de velocidad más preciso es el control de la tensión de armadura el cual, actualmente, se implementa electrónicamente mediante rectificadores controlados (SCR) por control del ángulo de disparo; sin embargo este control no es muy preciso, por lo que se prefiere utilizar el control PWM que emplea mosfets de potencia y otros dispositivos similares.

Los motores shunt suelen emplearse en los casos en que se desea velocidad constante bajo carga variable y cuando se puede poner en marcha al motor con cargas ligeras o nulas. En la Fig. 8 se representa el diagrama circuital de control de arranque y velocidad y curvas características de un motor CC. tipo shunt.

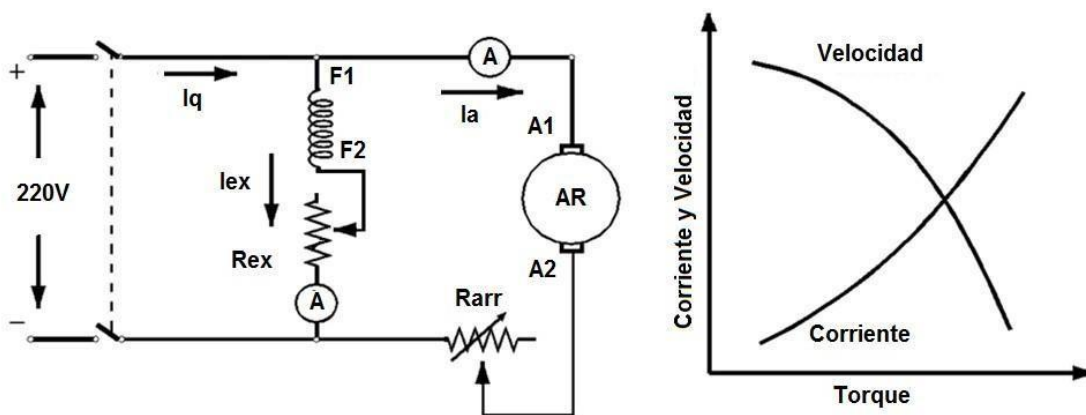


Fig. 8. Motor CC. Tipo shunt y curvas características

2.7. MOTOR DE CORRIENTE CONTINÚA TIPO SERIE.

Es idéntica en construcción al motor shunt excepto por el campo. El campo en este caso está conectado en serie a la armadura y por lo tanto ambos transportarán la misma corriente. El bobinado de campo entonces está compuesto de unas pocas vueltas (espiras) de alambre de cobre, con una sección lo suficientemente grande para transportar la corriente de armadura.

Al estar el campo conectado en serie a la armadura el flujo generado por el campo es proporcional a la corriente de armadura y de aquí proporcional a la carga conectada al motor.

Entonces cuando la carga es grande el flujo será grande y viceversa. A pesar de las diferencias con el motor shunt los mismos principios básicos y ecuaciones se aplican a ambas máquinas.

En el arranque, el torque es máximo ya que la corriente en el arranque es más grande que la normal y por consiguiente también el flujo. Si operamos a menos carga que la nominal, tenemos también la corriente de armadura y flujo de campo más pequeño que la normal y como el flujo más débil la velocidad se incrementa, produciéndose embalamiento. Es por ello que un motor serie jamás debe operar sin carga o carga ligera. Los Motores series se usan en equipos requiriendo alto torque de arranque, se adaptan perfectamente a la impulsión de locomotoras de tracción y otros vehículos eléctricos donde se tiene un acoplamiento permanente y no existe riesgo de que el motor se quede sin carga.

En la Fig. 9 se representa el diagrama circuital de control de arranque y curvas características de un motor de CC. tipo serie

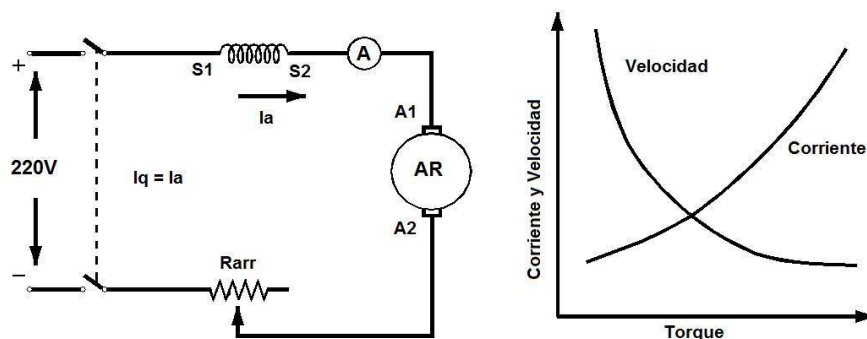


Fig. 9. Motor de CC tipo serie y curvas características

2.8. MOTOR COMPUESTO O COMPOUND

Un motor compuesto lleva tanto bobinado de campo en conexión shunt y serie. El campo que se genera entonces es la combinación de los campos producidos por ambos bobinados. Si las polaridades de los campos son iguales entonces, el campo generado es producido por la suma del campo serie y el campo shunt y se conoce como motor compuesto aditivo.

Cuando la carga incrementa el campo serie se incrementa, pero el campo shunt permanece constante tenemos entonces más campo generado a mayor carga y a mayor campo menor velocidad. Si estos tienen polaridades opuestas como ocurriría en el caso un motor compuesto diferencial, el campo generado disminuiría con la carga (campos se restan) dando lugar a que la velocidad se incremente con la carga lo cual conduciría a

inestabilidad. En términos generales se puede decir que las características de un motor compuesto son intermedias entre las características del motor serie y el motor shunt.

Los motores de tipo compuesto se utilizan en aquellos casos en los que es admisible la variación de la velocidad con la carga. El torque de arranque de este motor es alto, pero no tanto como el del motor serie.

En la Fig. 10 se representa el diagrama circuital de control de arranque y las curvas características de un motor tipo compuesto (compound) conexión larga.

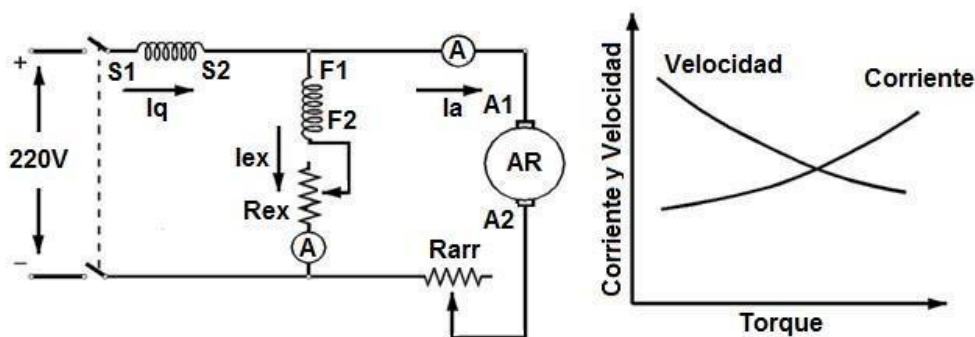


Fig 10. Motor CC tipo compuesto y curvas características

2.9. MOTOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

Son aquellos que obtienen la alimentación del rotor (o armadura) y del estator (o campo) de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del estator es constante al no depender de la carga del motor. Las variaciones de velocidad al aumentar la carga se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz por aumentar la caída de tensión en el rotor. Este sistema de excitación utiliza dos fuentes de alimentación como en la Fig.11.

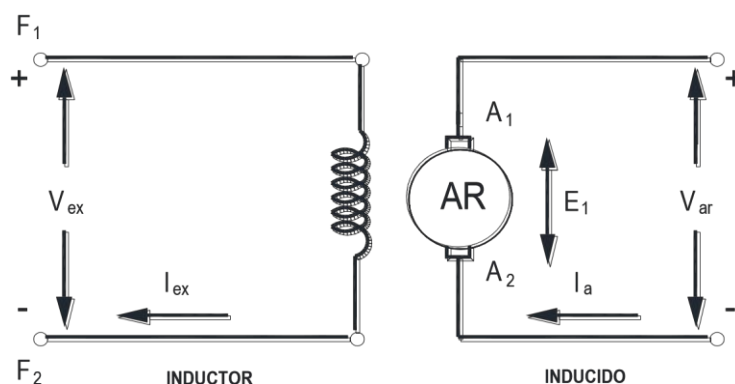


Fig. 11. Motor de CC tipo excitación independiente

3. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- Verificar la ficha técnica del motor a evaluar y determinar valores nominales para las pruebas a realizar.
- Realizar la medición de resistencias de armadura y campo
- Plantear el circuito equivalente para cada configuración.
- Medir puntos de operación con carga en el motor DC.

4. MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL LABORATORIO

- PC o Laptop con conexión a internet

4.1. LISTA DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN EL SOFTWARE

Código	Equipo	Características
8821	Fuente de alimentación	Tensión constante 120/208 VAC, 15 A, 60 Hz, 4 hilos Tensión variable 0-120/208 VAC. 5 A. 4 hilos Tensión variable 0-120 VDC, 8A Tensión constante 120 VDC, 2A
9063	Interfaz de adquisición de datos y control	Entrada de tensiones E1, E2, E3, E4; entrada de Corrientes I1, I2, I3, I4; entradas analógicas 7/T (torque), 8/n (velocidad); terminal común de la entrada/salida analógica; entrada de alimentación 24 VAC
8960-20	Dinamómetro / fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	0-3 N-m, 0-2500 rpm, 350 W
8211	Motor / Generador DC	Motor 175 W, 120V, 2.8 A, 1800 rpm.

Tabla 1 - Equipos a utilizar en el Laboratorio Nro. 4

5. PROCEDIMIENTO

5.1. CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE PARA EL ENSAYO

- Abrir el software LVSIM configurar el sistema a 120 V y 60 Hz
- Desplazar a la consola principal según la Figura 12 los siguientes componentes:

- Fuente de alimentación 8821
- Motor/Generador DC 8211.
- Dinamómetro / fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-20.
- Interfaz de adquisición y control de datos 9063-20.
- Multímetro. (Cuando sea requerido)



Fig. 12 Equipos del Ensayo de Motor de Corriente Continua

5.2. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA DE LAS BOBINAS

Realiza la medición del valor de las resistencias del bobinado del motor DC Shunt (8211) y completar la tabla 2 con los valores obtenidos.

DESIGNACIÓN	BOBINA	RESISTENCIA (Ω)
BOBINA DE ARMADURA	1 - 2	
BOBINA SERIE	3- 4	
BOBINA DE CAMPO	5- 6	
REÓSTATO DE CAMPO [Rango]	7 – 8	

Tabla. 2 Resistencia del bobinado en el motor y reóstato

5.3. REALIZAR LA CONEXIÓN MECÁNICA ENTRE MOTOR Y DINAMÓMETRO.

Bajar el panel frontal del motor y del dinamómetro (clic izquierdo del mouse sobre el panel frontal).

Colocar la faja entre las poleas (clic derecho en la polea arrastrar y soltar en la otra polea).

Levantar el panel frontal del motor y del dinamómetro (clic izquierdo del mouse sobre el panel frontal).

5.4. CONFIGURACIÓN SHUNT - REALIZAR LA CONEXIÓN ELÉCTRICA DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

Realizar el cableado según la Fig. 13.

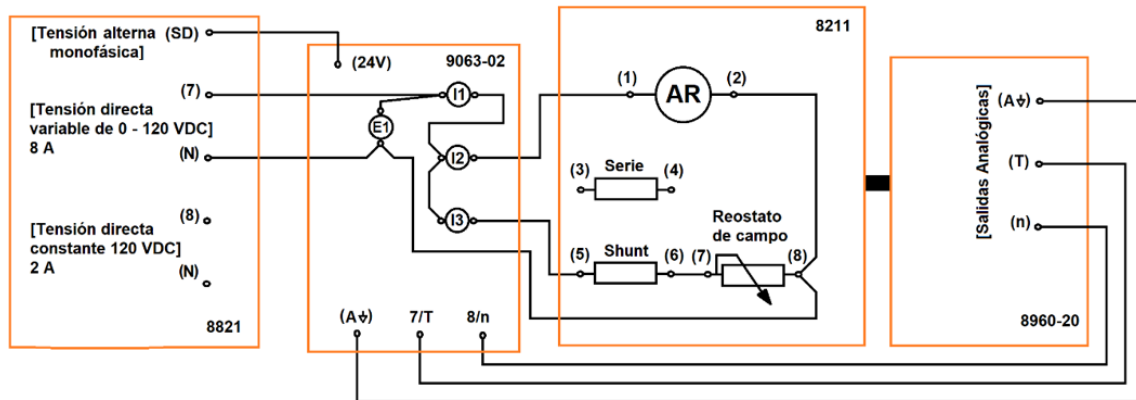


Fig. 13 Esquema de cableado para el ensayo de carga en un motor DC - Shunt

- Encender el interruptor de 24 VAC para alimentar el módulo 9063 de adquisición de datos.
- Configurar panel de instrumentos y la tabla de datos con los siguientes parámetros: Voltaje (E1), Corrientes (I1, I2, I3), Potencia (PE1), RPM y Torque.
- Encender el interruptor de alimentación principal.
- Accionar el icono del Dinamómetro, en la barra de herramientas.
- Configurar el dinamómetro en: Función "Motor de Impulsión/Freno de par constante negativo", Control del par "Perilla", Par (N-m) "0", Relación de polea "24:24", Estado "En marcha".
- Regular la corriente de campo a 0.154 A por medio del reóstato.
- Regular la potencia de acuerdo a la tabla 3.
- Registrar cada punto en la tabla 3.

$I_c = 0.154 \text{ A}$				
$V_1 \text{ (V)}$	$I_{arm} \text{ (A)}$	$T \text{ (N-m)}$	$n \text{ (RPM)}$	$P_{mec} \text{ (W)}$
120.0				157.5
120.0				210.0

Tabla. 3 Ensayo con carga Motor Shunt

- Disminuir el torque al mínimo. apagar dinamómetro y fuentes.

5.5. CONFIGURACIÓN COMPUESTA - REALIZAR LA CONEXIÓN ELÉCTRICA DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

Realizar el cableado según la Fig. 14.

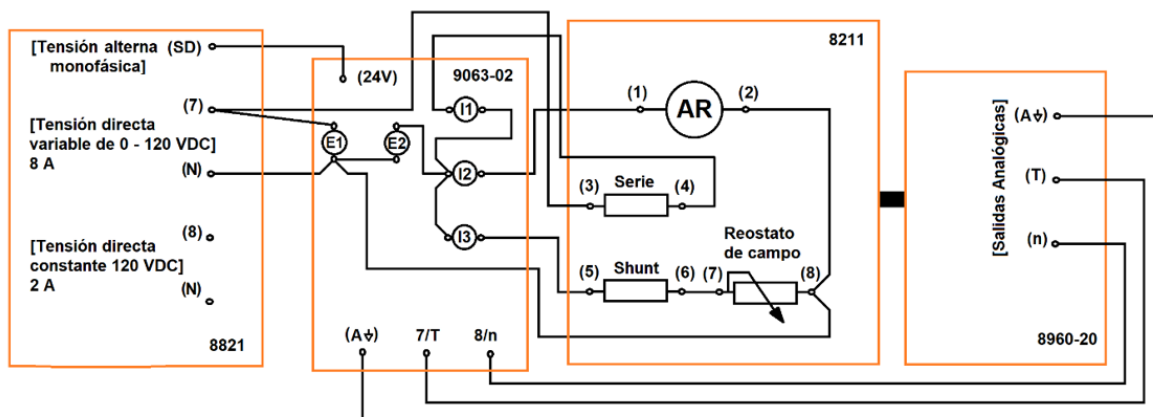


Fig. 14 Esquema de cableado para el ensayo de con carga en un motor DC - Compuesto

- Encender el interruptor de 24 VAC para alimentar el módulo 9063 de adquisición de datos.
- Configurar panel de instrumentos y tabla de datos con los siguientes parámetros: Voltajes (E1, E2), Corrientes (I1, I2, I3), Potencia (PE1), RPM y Torque.
- Configurar la tabla de datos con los parámetros del panel de instrumentos.
- Encender el interruptor de alimentación principal.
- Accionar el icono del Dinamómetro, en la barra de herramientas.
- Configurar el dinamómetro en: Función "Motor de Impulsión/Freno de par constante negativo", Control del par "Perilla", Par (N-m) "0", Relación de polea "24:24", Estado "En marcha".
- Regular la corriente de campo a 0.154 A.
- Regular el torque de acuerdo a la tabla.

- Registrar cada punto en la tabla 4.

$I_c = 0.154 \text{ A}$				
$V_1 \text{ (V)}$	$I_{arm} \text{ (A)}$	$T \text{ (N-m)}$	$n \text{ (RPM)}$	$P_{mec} \text{ (W)}$
120.0				157.5
120.0				210.0

Tabla. 4 Ensayo con carga Motor Compuesto

- Disminuir el torque al mínimo, apagar dinamómetro y fuentes.

5.6. CONFIGURACIÓN SERIE - REALIZAR LA CONEXIÓN ELÉCTRICA DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

Realizar el cableado según la Fig. 15.

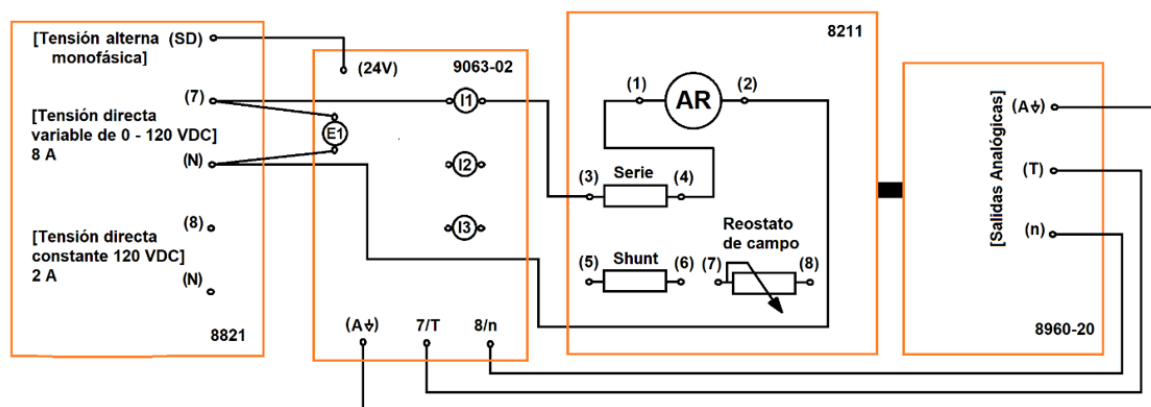


Fig. 15 Esquema de cableado para el ensayo de con carga en un motor DC - Serie

- Encender el interruptor de 24 VAC para alimentar el módulo 9063 de adquisición de datos.
- Configurar panel de instrumentos con los siguientes parámetros: Voltaje (E1), Corriente (I1), Potencia (PE1), RPM y Torque.
- Configurar la tabla de datos con los parámetros del panel de instrumentos.
- Configurar el dinamómetro en: Función "Motor de Impulsión/Freno de par constante negativo", Control del par "Perilla", Par (N-m) "0", Relación de polea "24:24", Estado "En marcha".
- Encender el interruptor de alimentación principal.
- Regular el torque de acuerdo a la tabla 5.
- Registrar cada punto en la tabla 5.

V_1 (V)	I_{arm} (A)	T (N-m)	n (RPM)	P_{mec} (W)
120.0				157.5
120.0				210.0

Tabla. 5 Ensayo con carga Motor Serie

- Disminuir el torque al mínimo, apagar dinamómetro y fuentes.

5.7. ENTREGABLES.

- Tres archivos de LVSIM correspondientes a cada conexión del motor DC
- Un archivo con las tablas obtenidas para cada conexión.