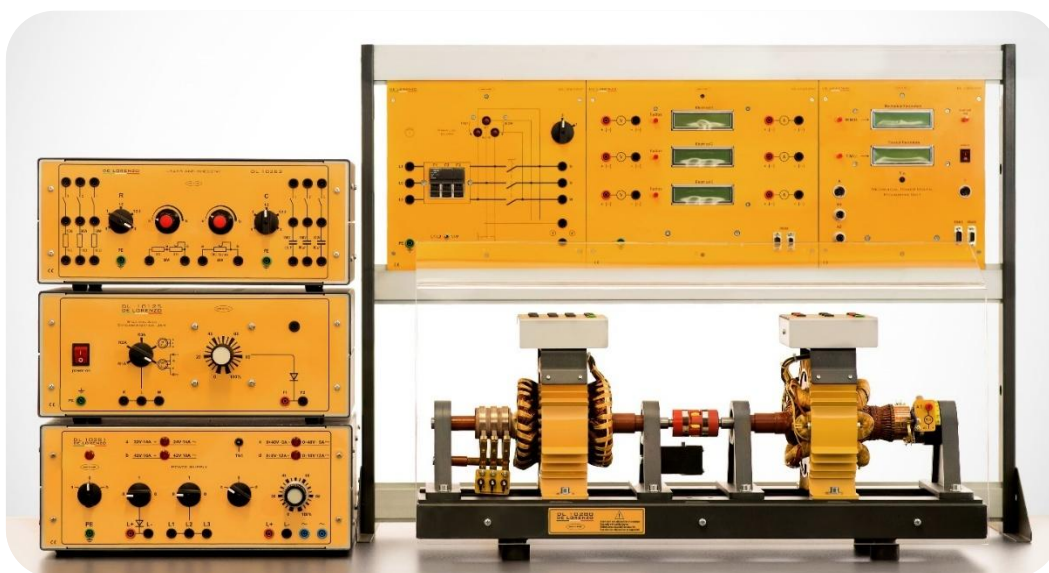




## LABORATORIO SEMIAUTOMÁTICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL



### DL OPENLAB-SA-AI

El **DL OPENLAB-SA-AI** ofrece una "primera vista" al vasto y complejo mundo de las máquinas eléctricas. Las principales características de este laboratorio son su estructura "abierta", donde los bobinados del rotor, los bobinados del estator y las escobillas están completamente expuestos para realizar experiencias didácticas como el análisis de los flujos y los campos magnéticos. De esta manera, los estudiantes pueden aprender en detalle la construcción interna y el montaje de diferentes tipos de máquinas eléctricas y realizar pruebas prácticas para la adquisición de sus características de funcionamiento.

Este sistema modular funciona a bajos voltajes y proporciona un entorno de entrenamiento práctico y seguro con la adición de la protección de plexiglás que evita el contacto directo con las máquinas eléctricas giratorias para evitar lesiones. Incluye un software desarrollado en LabVIEW que se comunica con los principales módulos de medición del sistema para adquirir los valores eléctricos y mecánicos.

**Integración del módulo de IA:** Para optimizar la experiencia de aprendizaje, se incorpora un módulo de IA que analiza los datos recopilados en los experimentos. Este módulo proporciona retroalimentación y simulaciones en tiempo real basadas en las aportaciones y experimentos de los estudiantes. Al aprovechar los algoritmos de Machine Learning, la IA podría identificar patrones en las características operativas de diferentes máquinas y sugerir optimizaciones o técnicas de solución de problemas. Esto no solo profundizaría la comprensión de los estudiantes sobre las máquinas eléctricas, sino que también les proporcionaría herramientas modernas utilizadas en la industria para el análisis de datos y el mantenimiento predictivo.

**Ideal para que 4 estudiantes trabajen simultáneamente**, en escuelas técnicas y vocacionales.

Aplicable a cursos de: **Magnetismo y Electromagnetismo, Electromecánica, Máquinas Eléctricas e Ingeniería de Potencia.**



## EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS Y APLICACIONES

El entrenador **DL OPENLAB-SA-AI** es una plataforma de aprendizaje práctico que ofrece un curso completo sobre máquinas eléctricas. Introduce los conceptos básicos de la construcción de máquinas eléctricas, empezando por los principios del electromagnetismo con el análisis de los campos y flujos magnéticos, hasta experimentos más avanzados con la caracterización y el análisis de la eficiencia de las máquinas rotativas en diferentes condiciones de trabajo.

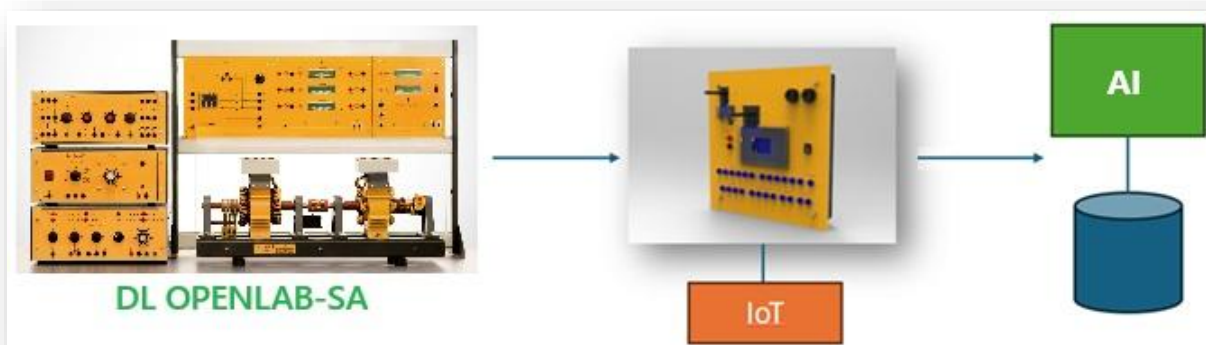
A través de este sistema, es posible ensamblar los tipos más comunes de máquinas eléctricas que se encuentran en la industria para llevar a cabo las experiencias didácticas tanto con la configuración básica como con la mejorada con **INTELIGENCIA ARTIFICIAL**.

### EXPERIMENTOS PARA LA CONFIGURACIÓN BÁSICA:

- Estudio del campo magnético,
- Principios de la inducción electromagnética,
- Motores de CC con excitación independiente, derivada, en serie y compuesta,
- Generadores de CC con excitación independiente, derivada, en serie y compuesta,
- Motores de inducción: trifásicos de anillos deslizantes y de jaula de ardilla, monofásicos de repulsión y con condensador,
- Conexión DAHLANDER,
- Motor trifásico síncrono, regulador de inducción y defasador, alternador, motor universal.

### EXPERIMENTOS PARA LA CONFIGURACIÓN MEJORADA CON MÓDULO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL:

- Procesamiento de señales,
- Análisis predictivo,
- Machine Learning supervisado (SML),
- Sistemas expertos,
- Redes neuronales,
- Optimización mediante algoritmos genéticos,
- Aprendizaje por refuerzo,
- Internet de las cosas (IoT).

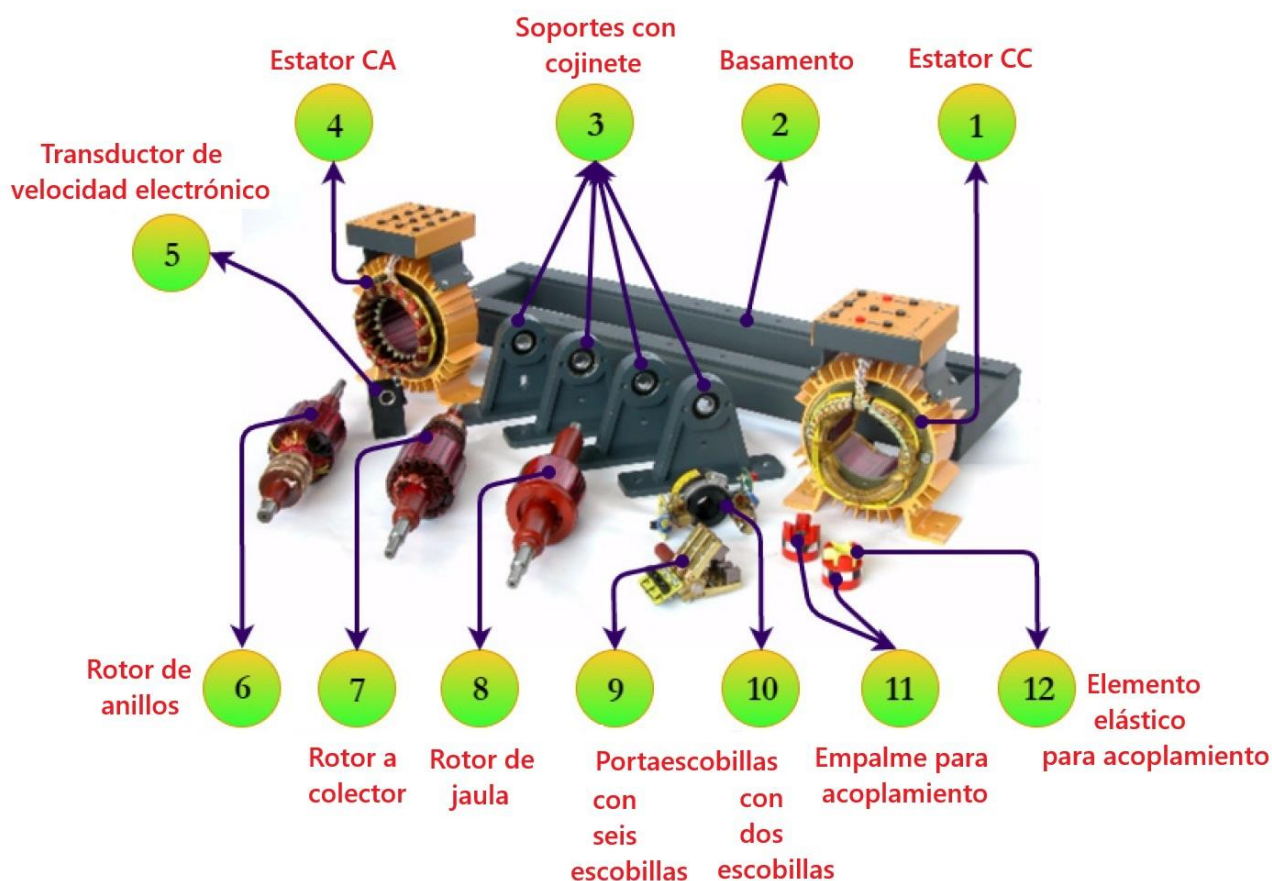




## CONJUNTO DE MÁQUINAS ENSAMBLABLES (DL 10280)

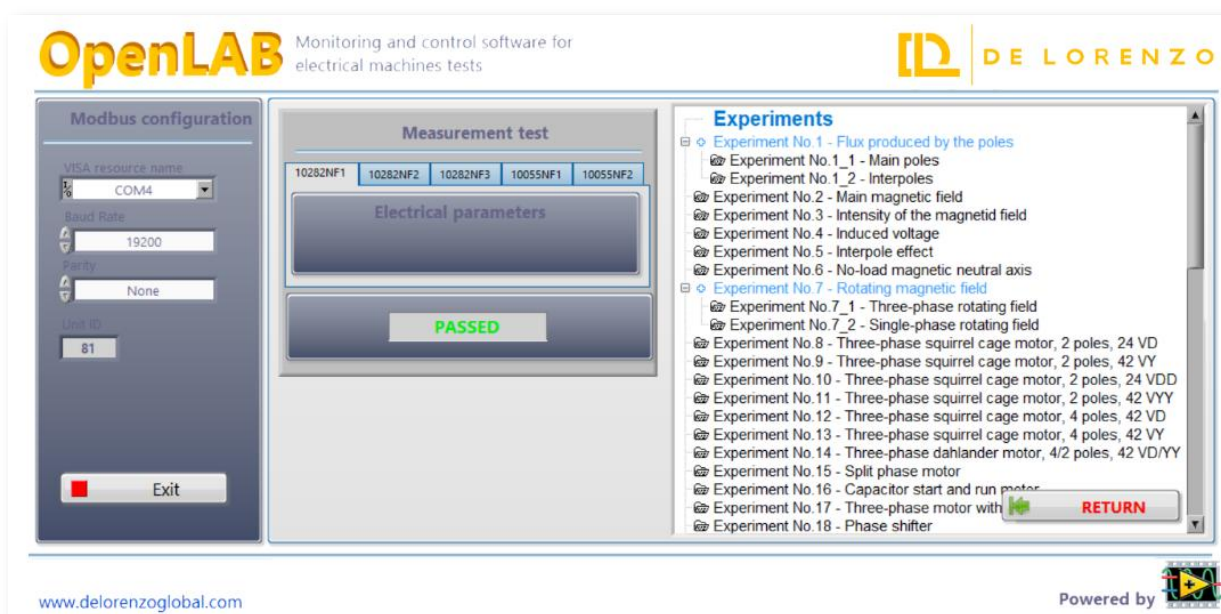
El núcleo del sistema es el **DL 10280**, que incluye todos los componentes necesarios para ensamblar diferentes tipos de máquinas rotativas.

El conjunto consiste en:

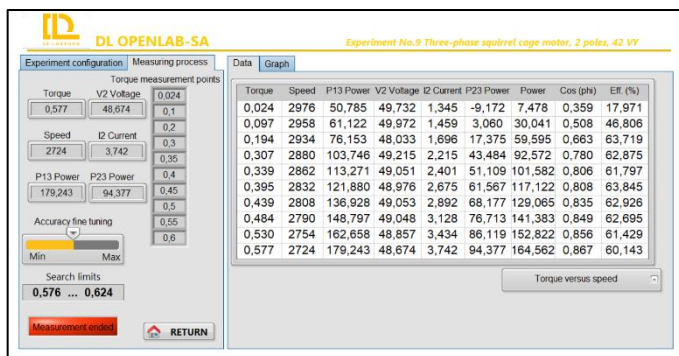




## SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS (DL OPENLAB\_DAS)

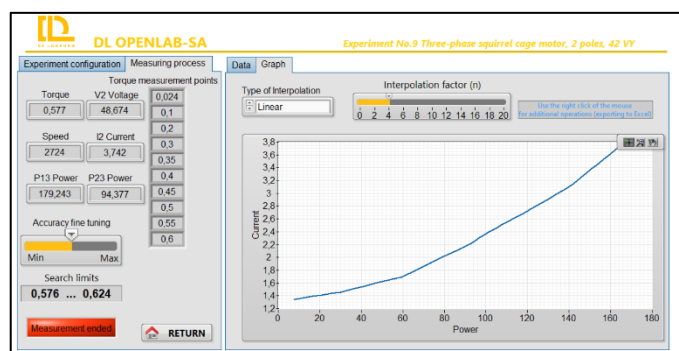


El **DL OPENLAB\_DAS** es un software desarrollado para la adquisición y visualización de los datos del laboratorio **DL OPENLAB-SA-AI**. Está desarrollado en LabVIEW y se comunica con los instrumentos (**DL 10282NF** y **DL 10055NF**) vía puerto serie utilizando el protocolo Modbus y adquiere datos mecánicos (velocidad y torque) así como datos eléctricos (AC y DC, Voltaje, corriente y Potencia).



### ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE DL OPENLAB\_DAS

1. Para cada experimento, adquiera datos estableciendo el número de mediciones y la precisión.
2. Trazar las curvas características de los elementos en estudio utilizando los datos adquiridos.
3. Exporte los datos en un archivo .xls para su posterior análisis.



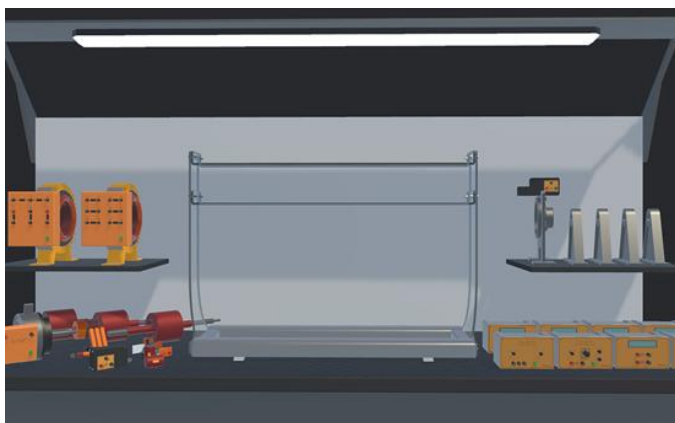
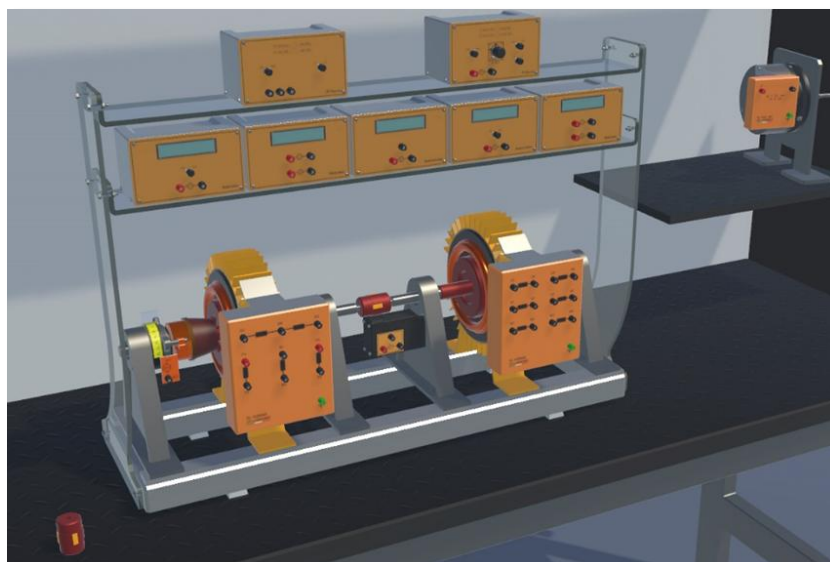




## SOFTWARE DE SIMULACIÓN INTELIGENTE DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS (DL OPENLAB-SSEM)

El **DL OPENLAB-SA-AI** incluye el simulador inteligente DL OPENLAB-SSEM. Se trata de un curso educativo de nueva generación y alto rendimiento que permite una experiencia didáctica completa e innovadora con máquinas eléctricas en un entorno de realidad virtual.

Se ha desarrollado para reproducir las características y el comportamiento de un laboratorio de máquinas eléctricas real. La experiencia didáctica incluye el montaje de máquinas eléctricas (rotores, estatores, soportes y acopladores), el cableado de las máquinas siguiendo las instrucciones del software, la aplicación de diferentes condiciones de trabajo por parte de los estudiantes y la realización de mediciones para estudiar su comportamiento.



### ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE DL OPENLAB-SSEM

- **LABORATORIO DE SIMULACIÓN VIRTUAL DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS:** Los estudiantes pueden replicar experimentos del sistema real fuera del aula, como en el entorno doméstico.
- **VALIDACIÓN AUTOMÁTICA DE LAS TAREAS DE LOS ESTUDIANTES:** El software verifica automáticamente si el estudiante completó exitosamente cada tarea para permitirle pasar a la siguiente.
- **SEGUIMIENTO DEL PROGRESO DE LOS ESTUDIANTES:** El profesor puede verificar el progreso de los estudiantes en cualquier momento consultando el resumen específico en el software o exportándolo a una hoja de cálculo.



## COMPOSICIÓN DEL LABORATORIO (DL OPENLAB-SA-AI)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Cantidad
DL 10280	Conjunto de máquinas ensambladas	1
DL 10280MP	Estator de imán permanente	1
DL 10281	Módulo de alimentación	1
DL 10282NF	Módulo de medición eléctrica	1
DL 10055NF	Módulo de medición digital de la potencia mecánica	1
DL 2006D	Celda de carga	1
DL 10283	Módulo de carga y reóstato	1
DL 10284	Soporte adaptador	1
DL 10285	Dispositivo de bloqueo y rotación	1
DL 10185	Módulo conmutador de polos	1
DL 10310NF	Módulo mesa de paralelo	1
DL 10300A	Freno electromagnético	1
DL 10116	Arrancador estrella-delta	1
DL 10125	Unidad de arranque y sincronización	1
DL AI-MODULE	Módulo de Inteligencia Artificial	1
DL 2100-2L	Bastidor de trabajo de dos niveles	1
DL OPENLAB_DAS	Software de adquisición y procesamiento de datos	1
DL OPENLAB-SSEM	Simulador inteligente para el entrenamiento en máquinas eléctricas	1

## LISTA DE EXPERIMENTOS DE LA CONFIGURACIÓN MEJORADA (CON DL AI-MODULE)

EXP.	DESCRIPCIÓN
1	<b>Procesamiento de señales</b> Análisis de señales de voltaje, corriente y par para optimizar el control de máquinas eléctricas.
2	<b>Análisis Predictivo</b> Predicción de desgaste y fallas en motores y generadores.
3	<b>Machine Learning supervisado</b> Predicción del comportamiento de máquinas eléctricas bajo diferentes condiciones de carga.
4	<b>Sistemas Expertos</b> Sistema experto para la gestión de máquinas eléctricas y la optimización de su rendimiento.
5	<b>Redes neuronales</b> Modelado del comportamiento de motores y generadores para predecir su rendimiento.
6	<b>Optimización mediante algoritmos genéticos</b> Optimización de la eficiencia de motores y generadores en diversas condiciones.
7	<b>Aprendizaje por refuerzo</b> Ajuste dinámico de parámetros operativos de máquinas eléctricas para optimizar su rendimiento.
8	<b>Internet de las cosas (IoT)</b> Uso de sensores IoT para monitorizar y ajustar los parámetros de máquinas eléctricas en tiempo real.



## LISTA DE EXPERIMENTOS DE LA CONFIGURACIÓN BÁSICA

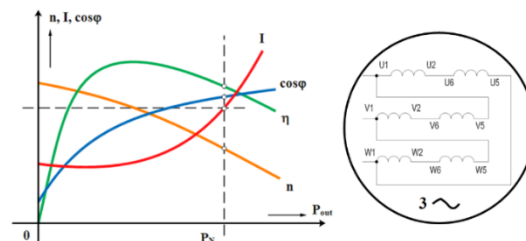
No	EXPERIMENTO	MÓDULOS												
		DL 10280	DL 10180MP	DL 10281	DL 10282NF	DL 10055NF DL 2006D	DL 10283	DL 10284	DL 10285	DL 10185	DL 10310NF	DL 10300A	DL 10116	DL 10125
1	Flujo producido por los polos	X		X	X									
2	Campo magnético principal	X		X	X									
3	Intensidad del campo magnético	X		X	X									
4	Voltaje inducido	X		X	X									
5	Efecto interpolación	X		X	X									
6	Eje neutro magnético sin carga	X		X	X									
7	Campo magnético rotativo	X		X	X		X							
8	Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 24 VΔ	X		X	X	X		X				X		
9	Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 42 VY	X		X	X	X	X	X				X		
10	Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 24 VΔΔ	X		X	X	X		X				X		
11	Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 42 VYY	X		X	X	X		X				X		
12	Motor trifásico de jaula de ardilla, 4 polos, 24 VΔ	X		X	X	X		X				X	X	
13	Motor trifásico de jaula de ardilla, 4 polos, 42 VY	X		X	X	X		X				X		
14	Motor DAHLANDER trifásico, 4/2 polos, 42 VΔ/Y	X		X	X	X		X		X		X		
15	Motor de fase dividida	X		X	X	X	X	X				X		
16	Motor con capacitor de arranque	X		X	X	X	X	X				X		
17	Motor trifásico con rotor devanado, 2 polos, 42 VYY	X		X	X	X	X	X				X		
18	Defasador	X		X	X		X	X	X					
19	Regulador de inducción	X		X	X		X	X	X					
20	Motor de inducción síncrono trifásico, 2 polos, 24 VΔ	X		X	X	X		X				X		X
21	Motor de inducción síncrono trifásico, 2 polos, 24 VΔΔ	X		X	X	X		X				X		X
22	Motor de CC con excitación independiente	X		X	X	X	X	X				X		
23	Motor de CC con excitación en paralelo	X		X	X	X	X	X				X		
24	Motor de CC con excitación en serie	X		X	X	X	X	X				X		
25	Motor de CC con excitación compuesta larga	X		X	X	X	X	X				X		
26	Motor de CC con excitación compuesta corta	X		X	X	X	X	X				X		
27	Motor monofásico	X		X	X	X		X				X		
28	Motor de repulsión	X		X	X	X	X	X				X		
29	Resistencia de devanado del motor síncrono	X		X	X									
30	Prueba de motor síncrono sin carga	X		X	X		X							
31	Características de cortocircuito del motor síncrono	X		X	X		X							
32	Prueba en cortocircuito del motor síncrono	X		X	X		X							
33	Motor síncrono - método de Behn-Eschenberg			Utiliza los datos de los experimentos 29, 30, 31										
34	Prueba de carga del motor síncrono	X		X	X	X	X							
35	Eficiencia convencional del motor síncrono			Utiliza los datos de los experimentos 29, 30, 32, 33										
36	Conexión en paralelo del alternador con la red	X		X	X	X	X				X			
37	Alternador como motor síncrono	X		X	X	X	X				X			
38	Resistencia del devanado del generador de CC	X		X	X	X								
39	Prueba del generador CC del motor sin carga (Swinburne)	X		X	X	X	X							
40	F.e.m. de un generador de CC sin carga	X		X	X	X								X
41	Características de excitación del generador de corriente continua	X		X	X	X								X
42	Dínamo con excitación independiente	X		X	X	X	X							X
43	Dínamo con excitación en paralelo	X		X	X	X	X							X
44	Dinamo con excitación en serie	X		X	X	X	X							X
45	Dinamo con excitación compuesta	X		X	X	X	X							X
46	Motor DC con imán permanente	X	X	X	X	X	X	X				X		
47	Generador de CC con imán permanente	X	X	X	X	X	X							



## DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS EXPERIMENTOS DE LA LISTA ANTERIOR

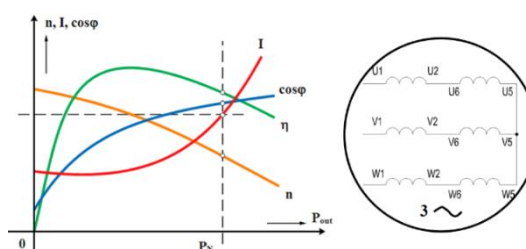
### Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 24 VA

Este experimento estudia el comportamiento del motor trifásico de jaula de ardilla en condiciones de carga con los devanados del estator conectados en delta.



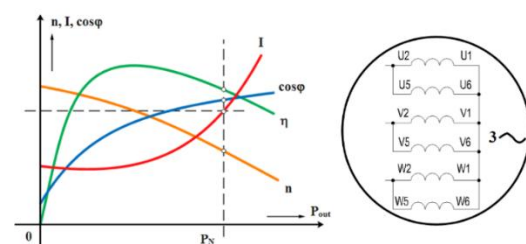
### Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 42 VY

El objetivo principal de este experimento es estudiar la curva característica de un motor trifásico de jaula de ardilla con el devanado del estator conectado en estrella, realizando una prueba directa con un freno electromagnético.



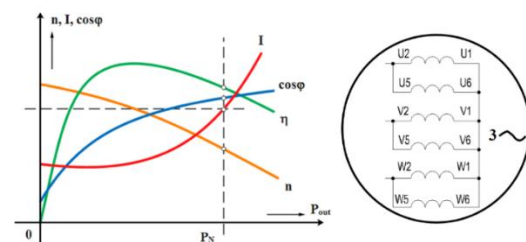
### Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 24 VΔΔ

Aplicando los mismos conceptos estudiados hasta este punto, los estudiantes pueden trazar las características de carga del motor trifásico de jaula de ardilla conectado en doble delta.



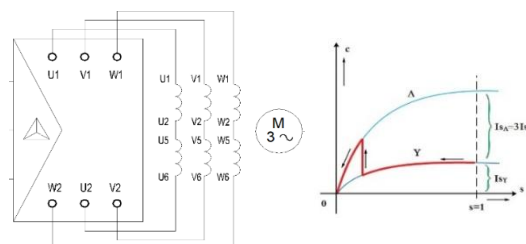
### Motor trifásico de jaula de ardilla, 2 polos, 42 VYY

Siguiendo el mismo procedimiento con el devanado del estator conectado en estrella doble, el estudiante trazará las curvas de la corriente absorbida  $I$ , el factor de potencia  $\cos\varphi$ , la velocidad  $n$  y la eficiencia  $\eta$  en función de la potencia de salida  $P$ .



### Motor trifásico de jaula de ardilla, 4 polos, 24 VΔ

Además de registrar las características de funcionamiento del motor, los estudiantes aprenderán a ponerlo en marcha utilizando un arrancador de estrella-delta.

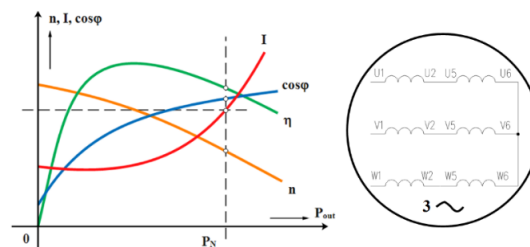






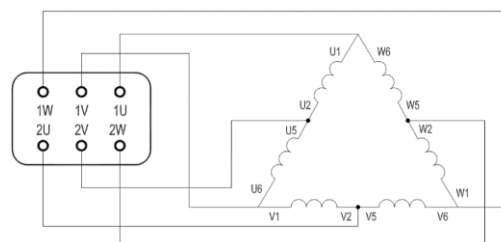
## Motor trifásico de jaula de ardilla, 4 polos, 42 VV

En este experimento, el estudiante aprenderá el funcionamiento de la carga de un motor trifásico de 4 polos.



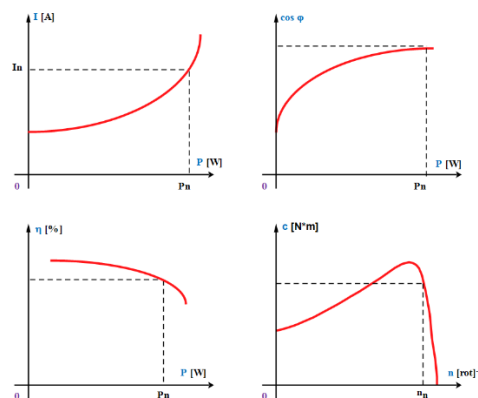
## Motor trifásico DAHLANDER, 4/2 polos, 42V Δ/YY

En experimentos anteriores, se ha demostrado que al cambiar el número de polos es posible variar la velocidad de un motor de jaula de ardilla. Los estudiantes aprenderán sobre la configuración del motor de dos velocidades DAHLANDER y su funcionamiento.



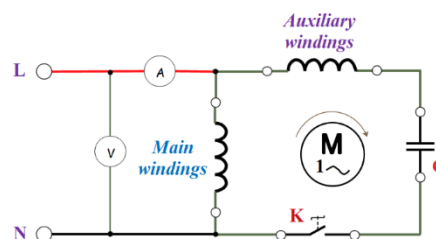
## Motor de fase dividida

El motor de fase dividida, también conocido como motor de arranque de resistencia, tiene un rotor de jaula única y su estator tiene dos bobinas conocidas como bobina principal y bobina de arranque. El objetivo principal de este experimento es estudiar las características del motor con el devanado principal solamente, y dibujar las curvas de la corriente  $I$ , la eficiencia  $\eta$ , el par  $C$ , la potencia de salida  $P$  y el factor de potencia.



## Motor con capacitor de arranque

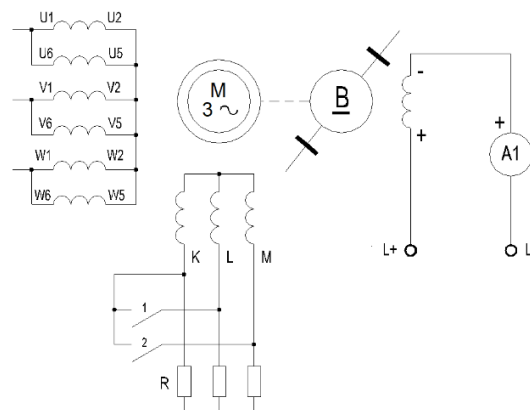
El objetivo es estudiar las características del motor con el condensador permanentemente conectado. Los estudiantes aprenderán cómo seleccionar y conectar adecuadamente un condensador a los bobinados auxiliares para que la corriente a través del bobinado principal se quede atrás de la corriente de los devanados auxiliares en un ángulo de  $90^\circ$ .





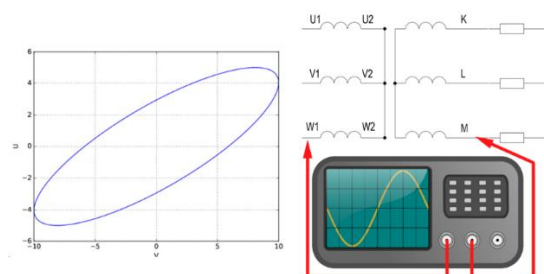
## Motor trifásico con rotor devanado, 2 polos, 42 VYY

El estudiante registrará las características de carga del motor con un rotor bobinado y el estator conectado en estrella doble. Con los conocimientos adquiridos hasta ahora, será fácil dibujar el diagrama de la característica mecánica  $M = f(n)$  y observar el comportamiento de un motor de inducción con un tipo diferente de rotor.



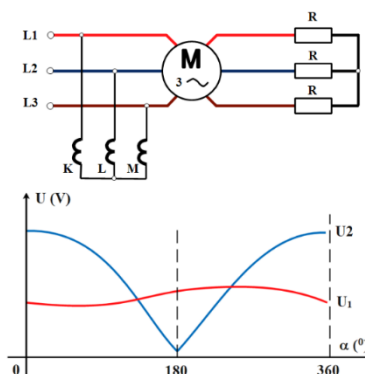
## Defasador

El objetivo es estudiar cómo varía la fase entre los voltajes del estator y del rotor en función del ángulo de rotación e identificar la condición de desplazamiento de fase nula utilizando la elipse de Lissajous ajustando el osciloscopio en modo XY.



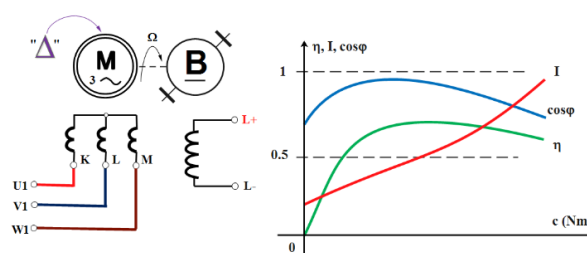
## Regulador de inducción

El objetivo es estudiar el funcionamiento de un regulador de voltaje trifásico. Mediante un módulo de bloqueo y rotación con un disco graduado, el rotor puede ser girado por medio del volante hasta que la corriente de carga resulte nula con una indicación mínima del voltímetro. El estudiante medirá la corriente absorbida a carga constante y dibujará las curvas de corriente y voltaje en función del desplazamiento angular de fase.



## Motor de inducción síncrono trifásico, 2 polos, 42 VA

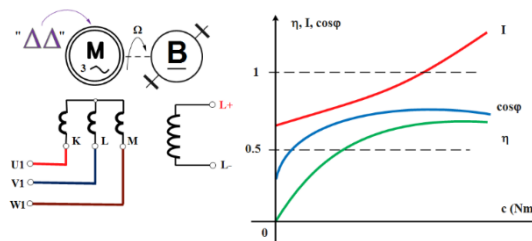
Este experimento estudia cómo arrancar y sincronizar el motor de inducción utilizando el reóstato de arranque y estudia las características de carga del motor a velocidad sincrónica.





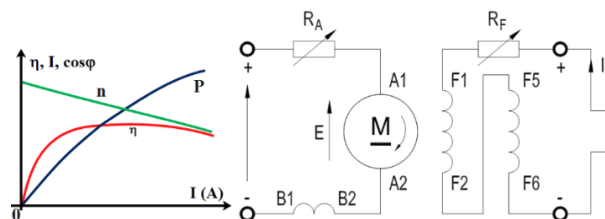
## Motor de inducción síncrono trifásico, 2 polos, 24 VΔΔ

Siguiendo el mismo procedimiento que en el experimento anterior, el diagrama de la corriente absorbida  $I$ , el factor de potencia  $\cos\varphi$  y la eficiencia  $\eta$  en función del par de salida  $c$  se trazará con el estator cableado en la configuración delta-delta.



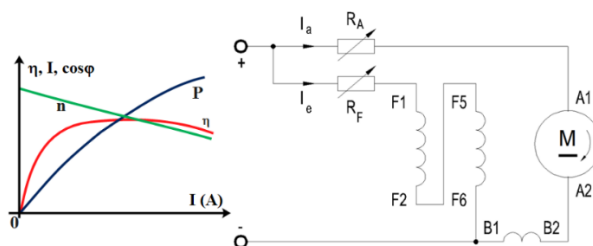
## Motor de CC con excitación independiente

Ahora es el momento de trabajar con motores de corriente continua. La primera aplicación se refiere a un motor de corriente continua con excitación separada, donde la bobina de campo es alimentada por una fuente externa independiente. Las características de funcionamiento del motor de corriente continua se estudiarán en función del voltaje de excitación.



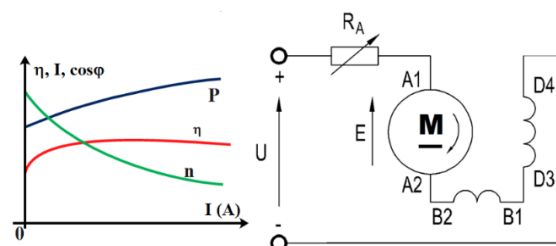
## Motor de CC con excitación en paralelo

Al realizar este experimento, el estudiante aprenderá a conectar la armadura y la bobina de campo en paralelo y comparar el comportamiento con el experimento anterior.



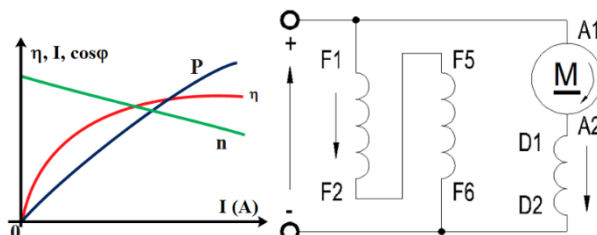
## Motor de CC con excitación en serie

A diferencia del motor de CC con excitación en paralelo, el motor de CC con excitación en serie tiene una regulación de velocidad muy pobre. El objetivo principal del experimento es dibujar las características de la potencia de salida  $P$ , la velocidad  $n$  y la eficiencia  $\eta$  en función de la corriente absorbida  $I$ .



## Motor de CC con excitación compuesta larga

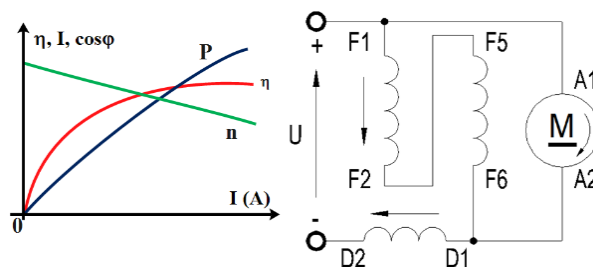
Al combinar la característica operativa tanto de la derivación como del motor de CC excitado en serie, obtenemos la del motor de excitación compuesto de CC. Se estudia el funcionamiento del motor con excitación acumulativa y diferencial.





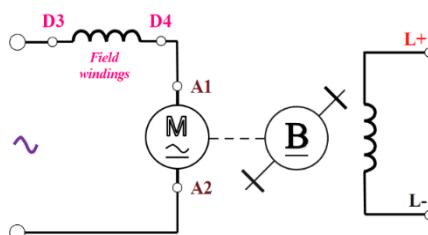
## Motor de CC con excitación compuesta corta

Este experimento muestra por qué el motor compuesto responde mejor a los cambios de carga pesada que un motor de derivación.



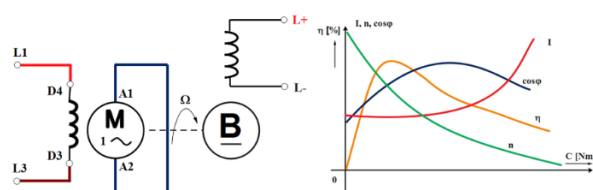
## Estudio del motor monofásico

El motor monofásico, también conocido como motor universal, es una máquina giratoria similar a un motor de CC, pero diseñada para funcionar tanto con CC como con CA monofásica.



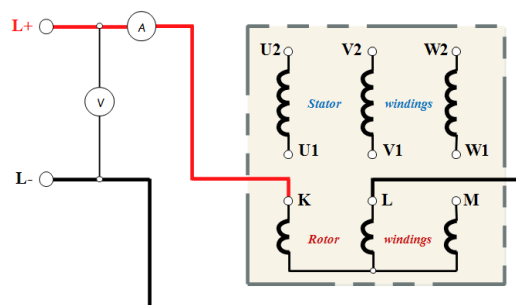
## Estudio del motor de repulsión

El motor de repulsión combina un estator de un motor monofásico con un rotor similar al de un motor de corriente continua. El principal beneficio del motor de repulsión es que la armadura está separada de la línea. El objetivo principal de este experimento es registrar sus características de funcionamiento.



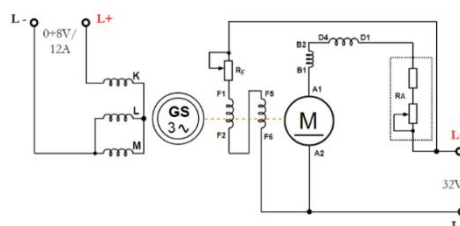
## Medir la resistencia de los bobinados del alternador

Este experimento calcula las caídas de voltaje a través de la resistencia del bobinado del rotor de un motor de inducción usando la ley de Ohm. El valor de la resistencia del bobinado del alternador es útil para calcular la eficiencia convencional.



## Prueba en vacío del alternador

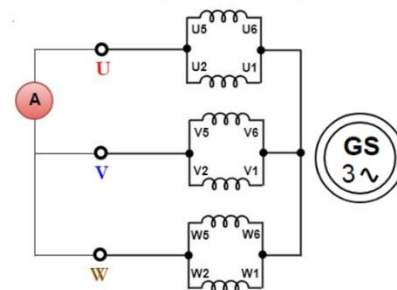
El objetivo principal de este experimento es determinar las pérdidas mecánicas y de hierro del alternador y registrar su característica de magnetización utilizando un motor de corriente continua como motor principal.





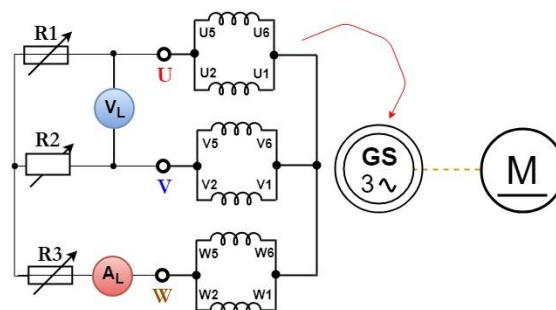
## Característica de cortocircuito del alternador

La prueba de cortocircuito del generador síncrono proporciona información sobre sus capacidades actuales. Se realiza conduciendo el generador a su velocidad nominal mientras las terminales del bobinado de la armadura están en cortocircuito. Este diagrama característico es esencial para la aplicación del método de prueba indirecta del alternador.



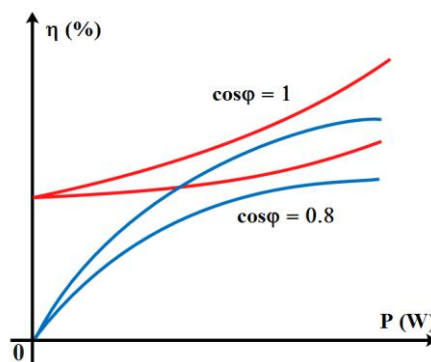
## Prueba de carga del alternador

Esta prueba compara el comportamiento de un generador síncrono conectado a una carga externa variable con su funcionamiento en vacío.



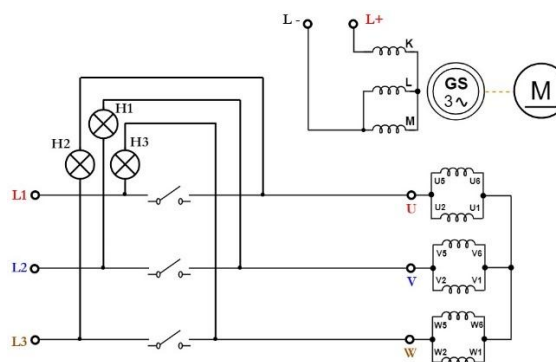
## Eficiencia convencional del alternador

La eficiencia convencional de una máquina síncrona se determina midiendo las pérdidas que operan a diferentes factores de potencia, utilizando los resultados de los experimentos anteriores.



## Conexión en paralelo del alternador con la red

Este experimento estudia una operación que se realiza frecuentemente en una central eléctrica. La sincronización de un generador consiste en acoplar eléctricamente la salida del generador a otra fuente de energía eléctrica y hacer funcionar el generador de manera que su salida se añada a la otra fuente.

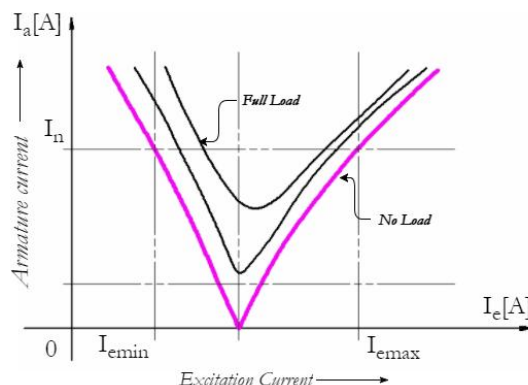






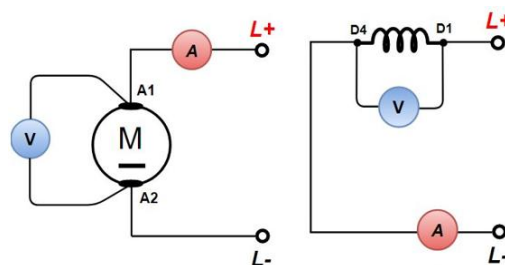
## Estudiar la curva en "V" del motor síncrono

La curva en V de una máquina síncrona muestra su rendimiento en términos de variación de la corriente de armadura con la corriente de campo cuando la carga y el voltaje de entrada de la máquina se mantienen constantes. Los estudiantes trazarán diferentes curvas en V para el par resistente aplicado al eje motor.



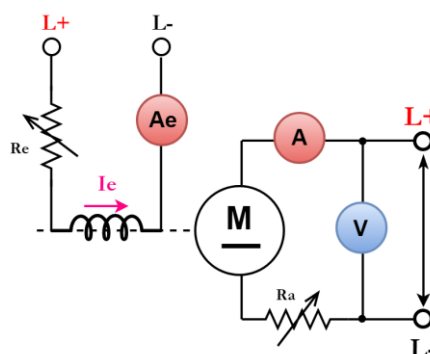
## Medir la resistencia de devanados del generador de CC

Este experimento demuestra cómo la medición de la resistencia interna de una máquina de corriente continua puede utilizarse para establecer la integridad de los bobinados y las conexiones internas de la máquina.



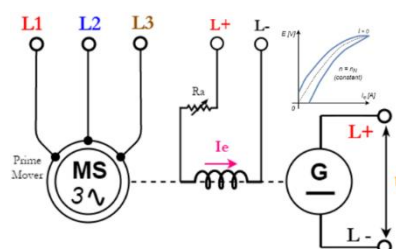
## Prueba del motor sin carga (Swinburne)

Para diseñar máquinas de corriente continua rotativas con mayor eficiencia, es importante estudiar las pérdidas que se producen en ellas. El método de Swinburne consiste en hacer funcionar un dínamo como motor de corriente continua sin carga para determinar sus pérdidas mecánicas y de hierro. Esto se hace aumentando el voltaje de la armadura  $U$  mientras se mide la corriente de armadura  $I_a$  y la corriente de excitación  $I_e$ .



## Característica de magnetización de un generador de CC

Este experimento estudia la característica de magnetización de un generador de corriente continua excitado por separado que utiliza un motor síncrono trifásico como motor principal.

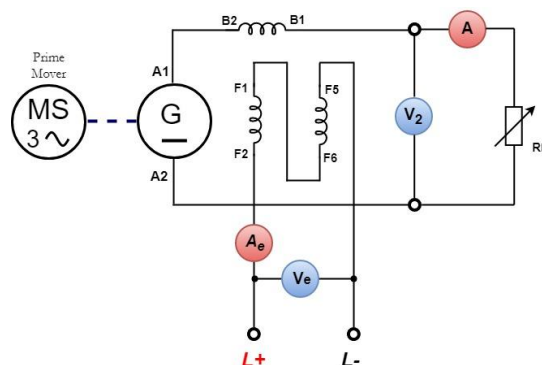




## Estudio del dinamo de excitación separada

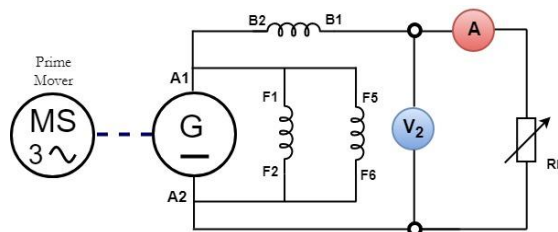
El objetivo principal de este experimento es registrar las características externas y de regulación de un generador de excitación separada para determinar su eficiencia convencional.

Esto se hace midiendo el voltaje de salida  $U$  en función de la corriente de carga, con una corriente de excitación constante  $I_e$ .



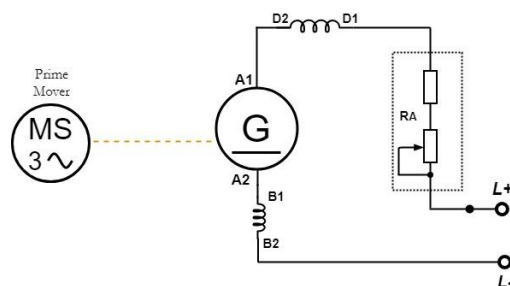
## Estudio del dínamo de excitación en paralelo

El experimento anterior se replica con una configuración diferente del generador de corriente continua. Usando los resultados de los experimentos anteriores, el estudiante trazará la característica externa y de regulación del generador conectado en derivación.



## Estudio del dínamo de excitación en serie

Determinar la característica externa de un generador de CC conectado en serie es observar cómo el voltaje cae ligeramente al aumentar la carga. Los estudiantes usarán estos resultados para calcular la eficiencia convencional del dínamo.



## Estudio del dinamo de excitación compuesta

Este experimento sigue el mismo procedimiento que los anteriores con el generador en conexión de excitación compuesta. Después de realizar este último experimento, los estudiantes podrán hacer análisis comparativos entre todas las diferentes configuraciones de generadores de corriente continua.

