
ELECTROTECNIA

PRÁCTICA nº 5

**MÁQUINAS ROTATIVAS. FUNCIONAMIENTO COMO MOTOR.
ALTERNADORES Y DINAMOS EN CORRIENTE CONTINUA.**

PRACTICA 5

MÁQUINAS ROTATIVAS. FUNCIONAMIENTO COMO GENERADOR. ALTERNADORES Y DÍNAMOS DE CORRIENTE CONTINUA

1.- FUNDAMENTO DE LOS GENERADORES ROTATIVOS.

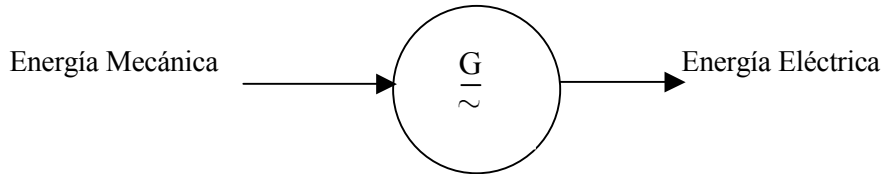


Figura 1. Funcionamiento como generador de una máquina eléctrica.

Un generador eléctrico transforma la energía mecánica (que recibe en su eje) desde un elemento motor, en energía eléctrica (en bornes de salida), que suministra a una carga o circuito eléctrico de utilización. En los alternadores la forma de esta energía eléctrica es de corriente alterna y en los dinamos se manifiesta en forma de corriente continua.

El principio de funcionamiento de estas máquinas, en líneas generales, es el siguiente: Su eje recibe energía mecánica de un elemento que le proporciona este giro; acopladas al mismo se encuentran una serie de espiras en forma de bobina. Este bloque de bobinas se encuentra solidario al eje y bajo la acción de un campo magnético creado por algún imán permanente o electroimán. Al girar estas bobinas en el interior del campo magnético y sometidas por lo tanto a una variación de flujo, en virtud del principio de inducción electromagnética de Faraday, se induce en ellas una fuerza electromotriz que será proporcional a :

- La intensidad del campo magnético.
- Velocidad con que se mueve la espira en el interior del campo.
- Número de espiras existentes en cada bobina.

El valor de la tensión inducida responde a la siguiente expresión:

$$FEM = \frac{\phi_i \times N \times n \times P}{60 \times a} \times 10^{-8} = B \times l \times v \times 10^{-8}$$

Siendo:

FEM = Tensión máxima inducida en cada bobina en voltios.

ϕ_i = Flujo magnético en Maxwell

N = Número de espiras de cada bobina.

n = Velocidad del motor en r.p.m.

P = Número de pares de polos.

a = Número de circuitos paralelos del inducido.

B = Valor de la inducción en Gauss.

l = Longitud del conductor sometido al campo en cm..

v = Velocidad periférica de la espira en cm/s.

Esta f.e.m. inducida aplicada a un circuito exterior da lugar a la circulación de una corriente que, por extensión, también se conoce como corriente inducida

El campo magnético puede ser de imán permanente o electromagnético. El primero prácticamente no se usa, salvo en casos muy específicos. El segundo es generado a partir de una corriente continua que se hace pasar por una bobina compuesta por un determinado número de espiras que envuelve a unos elementos de baja reluctancia que reciben el nombre de piezas o masas polares. El conjunto pieza polar y bobina recibe el nombre de polo magnético y su número ha de ser siempre par.

La intensidad del campo magnético depende:

- Número de espiras de la bobina.
- Intensidad de corriente que se haga pasar por la bobina.
- De la longitud del circuito magnético

$$H = 1,25 NI / L$$

La inducción magnética depende de la intensidad de campo y del coeficiente de permeabilidad magnética del hierro del circuito magnético

$$B = \mu H$$

La corriente que se hace pasar para la generación de este campo recibe el nombre de **corriente de excitación**.

En los alternadores esta corriente es continua y procede de una dínamo colocada en el mismo eje del alternador, que recibe el nombre de **excitatriz**.

En las dinamos, si esta corriente continua procede de una fuente exterior, la máquina recibe el nombre de dinamo de excitación independiente. Cuando la corriente de excitación proviene de la misma máquina que la genera ésta recibe el nombre de dinamo autoexcitada.

Otra forma de obtener el valor de la f.e.m. inducida, sabiendo que depende de la variación de flujo respecto del tiempo, es la siguiente:

$$e = d\Phi/dt \quad \text{en valor instantáneo y}$$
$$E = \Phi/t = B S / t = B l a/t = B l v \quad \text{siendo}$$

- E valor máximo de la f.e.m. en voltios
- B el valor de la inducción en Teslas
- l la longitud de la masa polar en metros
- a la anchura de la masa polar o arco polar en metros
- v la velocidad de la espira en m/s.

2.- APARAMENTA.

En esta práctica utilizaremos nuevos dispositivos de los que es necesario tomar conocimiento, como son los **convertidores**.

Genéricamente llamamos convertidores a los dispositivos que aseguran las diversas transformaciones posibles de las características de la energía eléctrica. Dentro de este grupo podemos considerar:

a.- Los transformadores y autotransformadores. Permiten la conversión de una corriente alterna de tensión determinada en otra corriente alterna de distinta tensión.

El autotransformador.- Es un elemento regulador de tensión, en el que hay una borne de entrada (E), una común para la entrada y salida (C), y otra para la salida (S), que es el eje o cursor. Las tensiones de entrada se aplican entre E y C, obteniéndose la salida entre S y C.(figura 2.)

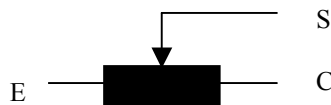


Figura 2. Autotransformador

Utilizando los autotransformadores de regulación continua monofásicos y trifásicos, con fuentes de alimentación en corriente alterna, obtendremos las correspondientes fuentes de corriente alterna regulables. Podemos obtener tensiones comprendidas entre el intervalo en el que trabaje dicho autotransformador, dependiendo de las relaciones de transformación. En cada caso las intensidades vienen limitadas por la potencia de los autotransformadores.

El autotransformador trifásico no es más que, una asociación en "tandem" de tres monofásicos. La conexión de estos tres autotransformadores se hace, por regla general, en estrella.

b.- Rectificadores.- son elementos que están formados por asociaciones de diodos, de forma tal que rectifican la corriente alterna, pudiéndola convertir en pulsatoria, continua. Los diodos vienen representados por la siguiente figura.2.3.



Figura 3. Diodo

c.- Onduladores.- son los convertidores de corriente continua en corriente alterna. Los **inversores** pueden funcionar indistintamente como rectificadores o como onduladores.

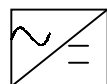


Figura 4. Ondulador (Inversor)

Si al autotransformador que hemos conectado a una fuente de tensión en alterna le añadimos puentes rectificadores obtendremos fuentes de tensión continua pulsatoria cuyo rizado (forma de onda) dependerá del tipo de puente.

El conjunto representado en la siguiente figura 5, está constituido por un autotransformador trifásico de regulación continua conectado en estrella, y un puente de Graetz trifásico. Si el

conjunto lo conectamos a una fuente de alimentación alterna dicho sistema será considerado como una fuente de corriente continua regulable.

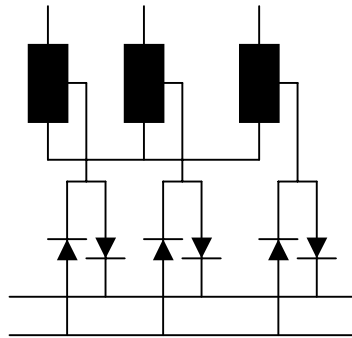


Figura 5. Autotransformador trifásico conectado en estrella y un puente Graetz trifásico

Otros elementos a conocer son los variac, reostatos y potenciómetros.

Un **variac** no es más que una bobina con núcleo toroidal de chapa magnética y con un cursor, que permite tomar parte de la tensión producida por autoinducción en la misma. Se trata pues de un autotransformador de regulación continua como los citados en el apartado de fuentes de alimentación.

Recibe el nombre de **reostato**, toda resistencia intercalada en un circuito eléctrico, sea en serie o en derivación, a fin de regular la intensidad o disminuir la tensión. Son resistencias bobinadas sobre núcleos toroidales aislantes (de porcelana) con un cursor que permite modificar la resistencia del mismo, y con ello las condiciones de carga del circuito.

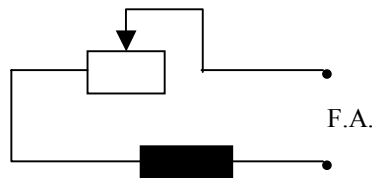


Figura 6. Reostato

Si se conecta el cursor con uno de los extremos de la resistencia el montaje se denomina **potenciómetro**. Por lo tanto con el montaje en potenciómetro de una resistencia, se obtiene una tensión variable desde el valor de alimentación hasta cero.

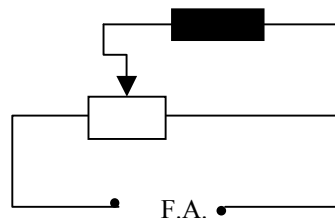


Figura 7. Potenciómetro

En los reostatos hay que cuidar que no se supere la intensidad máxima admisible, ya que se puede quemar.

3.- OBJETIVOS.

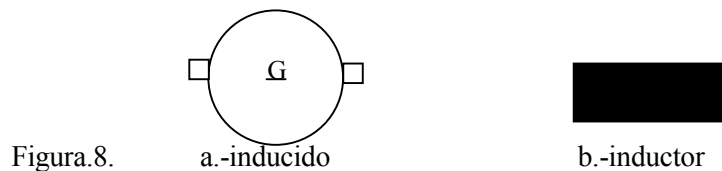
En esta práctica se pretende estudiar el funcionamiento de cuatro tipos de generadores de corriente continua (dinamos). Uno de excitación independiente y tres de autoexcitación. En todos los casos se estudiará su funcionamiento tanto en vacío como en carga.

Dependiendo de que la corriente generada en la máquina se haga pasar toda o parte de la misma por las bobinas productoras del campo magnético las dinamos autoexcitadas se clasifican:

- Dinamos de excitación serie.
- Dinamos de excitación shunt o paralelo.
- Dinamos de excitación serie-paralelo (compound).

El campo magnético y todos los elementos que intervienen en su generación reciben el nombre de inductor de la máquina. El elemento que se encuentra en el interior de la acción de este campo magnético, y donde se inducirá una determinada tensión recibe el nombre de inducido.

Los símbolos tanto para el inducido como para el inductor se muestran en la figura 8.



Cuando giran las espiras movidas por el eje de la máquina, éstas cortan las líneas de fuerza en dos sentidos: Las de un lado del eje las cortarán hacia arriba, mientras que las del otro lado las cortarán hacia abajo. Esto significa que, según la ley de Lenz, la tensión inducida en cada parte de la espira tendrá polaridad distinta, determinada por la regla de la mano izquierda. Durante cada media vuelta un extremo será positivo y el otro negativo, y en la otra media vuelta las polaridades serán distintas. La tensión inducida será alterna y en forma senoidal, puesto que la cantidad de líneas cortadas por las espiras o bobinas responde a la función seno.

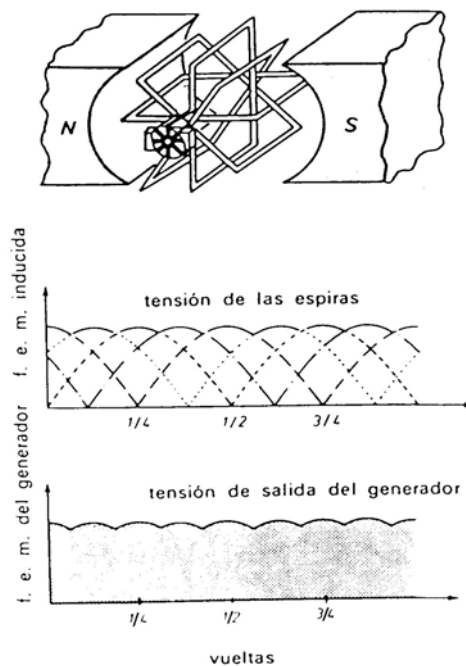


Figura 9. Esquema de dinamo con tres espiras y curvas de tensión originadas en el inducido

Todas las dinamos disponen de un elemento que recibe el nombre de **colector** y un **número par de escobillas** que tiene como misión transformar la corriente generada alterna en corriente continua (rectificarla), según se observa en la figura 2.9. El colector está formado por un número de delgas siempre par ya que cada terminal de las bobinas del inducido acaba en una de éstas. Las delgas se encuentran aisladas entre si por baquelita, mica o cualquier otro aislante de acuerdo con las tensiones máximas inducidas.

Caja o placa de bornes.-

No hay una norma oficial en España sobre la normalización de bornes en máquinas de corriente continua, aunque desde hace bastantes años viene prevaleciendo la designación propuesta por las normas DIN, que es la que utilizaremos. Al abrir la caja de bornes de una máquina de c.c. o en la misma tapa se observará que cada borne se encuentra señalada por una letra. Sabiendo el significado de cada letra, se puede conocer de inmediato a qué clase de máquina corresponde.

A continuación se especifica el significado de cada letra:

- A y B : Bobina del inducido.
- C y D : Bobina del inductor en paralelo o shunt.
- E y F : Bobinado inductor serie.
- G y H : Bobinado correspondiente a polos auxiliares o de conmutación.
- J y K : Bobinado inductor de excitación independiente.

A.-EXCITACION INDEPENDIENTE

A.1. MATERIAL

El material que se utilizará en esta parte de la práctica será fundamentalmente:

- Dinamo de excitación independiente.
- Un motor universal para accionar el eje de la dinamo.
- Corriente continua, para la cual se obtendrá a partir de corriente alterna, con un rectificador.
- Autotransformador
- Para estudiar las dinamos autoexcitadas en carga utilizaremos un reostato con una graduación de 0-100 partes.
- Aparatos de medida: voltímetros, amperímetros, tacómetros.

A.2. REALIZACIÓN PRÁCTICA

Como vimos anteriormente, la máquina de excitación independiente precisa de una fuente exterior de cc. que alimente (excite) la (o las) bobina inductora. En éste apartado vamos a generar una fuerza electromotriz. con dicha máquina. Para ello se ha de realizar el montaje indicado en el esquema 1.

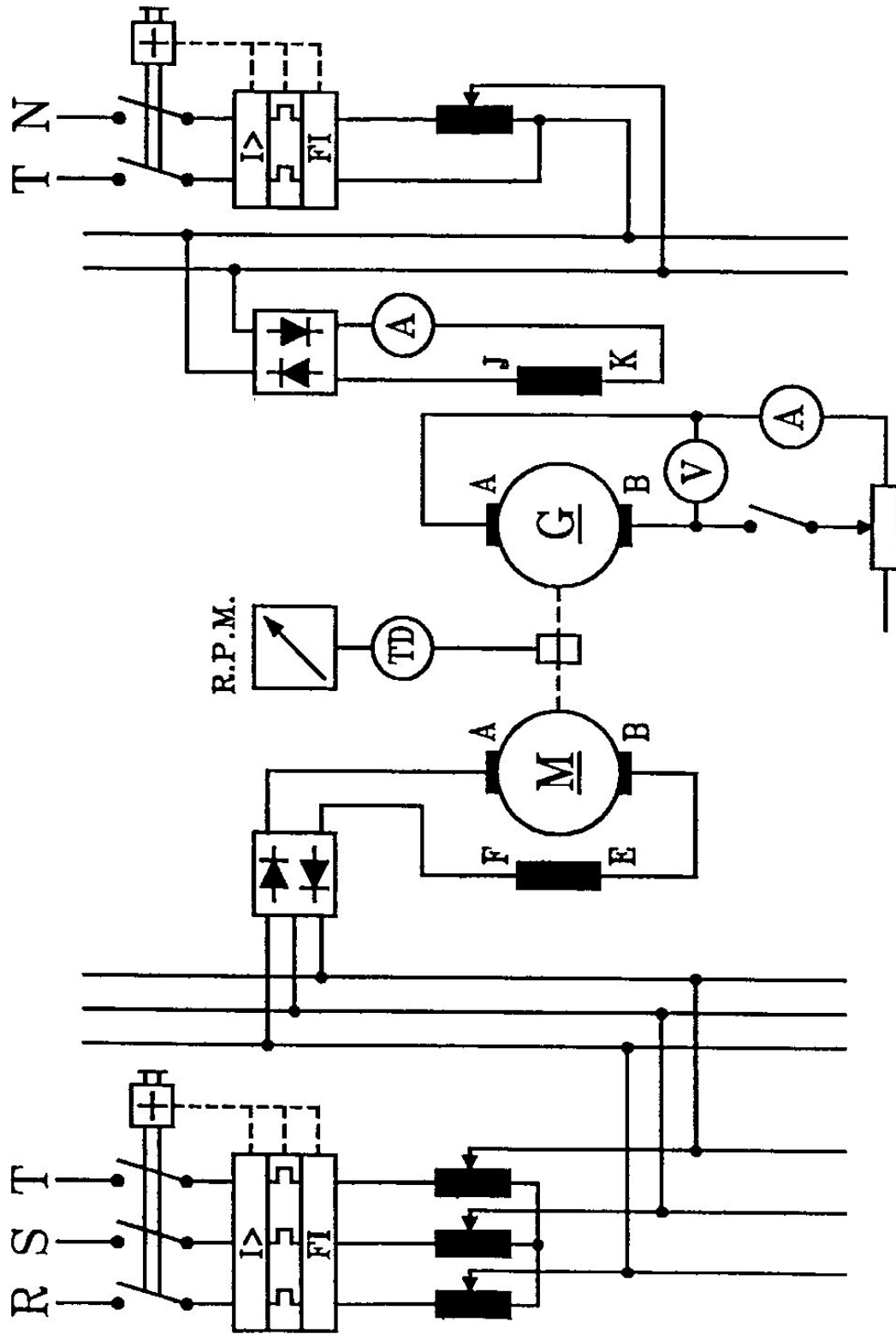
El movimiento de la dinamo lo proporcionará un motor universal al que se le puede variar la velocidad. Como ya hemos indicado, el inductor (terminales J-K) debe alimentarse con una corriente continua. Por ello se utiliza un rectificador monofásico conectado a la salida de un autotransformador. Este último nos permite regular la tensión en el rectificador, con lo que se consigue un control voluntario sobre la corriente de excitación, medida en el amperímetro correspondiente.

La FEM se generará en el inducido (terminales A-B), y de éste bobinado alimentaremos una carga variable que, en nuestro caso, será un reostato. Utilizaremos uno de 750 ohmios, para tener un amplio margen de variación de la carga. El voltímetro y amperímetro indicados se utilizarán para medir la f.e.m. generada en el inducido o la d.d.p. que aparece en bornes y la intensidad de la corriente que atravesará la carga. El interruptor se utilizará para pasar de una manera rápida de la situación de vacío a la de carga. Cuando el circuito esté abierto, no pasará intensidad alguna a la carga, con lo que el generador estará funcionando en vacío.

Una vez montado el circuito y comprobadas las conexiones, se procederá a la puesta en marcha del motor auxiliar que proporciona el movimiento, asegurándose de que la dinamo no esté excitada (interruptor correspondiente abierto) y de que también este abierto el interruptor de acceso a la carga. Se comprobará que se puede controlar con facilidad la velocidad de giro y que el tacómetro funciona perfectamente. Adoptar una velocidad inicial de giro de 1000 r.p.m.

Una vez alcanzada dicha velocidad se puede cerrar el circuito de excitación, asegurándose previamente de que el autotransformador esté en la posición de mínima salida.. Una vez cerrado el circuito de excitación, se irá incrementando la corriente de excitación accionando el autotransformador. Obsérvese cómo la tensión generada aumenta al hacerlo la corriente de excitación. (Se recomienda no pasar nunca la tensión generada de 230V).

ESQUEMA 1. ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA DINAMO DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE



A.3. ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO

a.- Ensayo en vacío

Rellenar la siguiente tabla para intensidades fijas de 80mA, 100mA y 120 mA cuando aumentamos la velocidad de giro de 400 rpm a 14000 rpm

R.P.M.	I ₀ =80 mA	I ₀ =100 mA	I ₀ =120 mA
	Tensión(V)	Tensión(V)	Tensión(V)
400			
600			
800			
1000			
1200			
1400			

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores realizar tres gráficas donde se relacionen la tensión de salida (ordenadas) con la velocidad (abcisas).

Estas gráficas nos darán una idea de las curvas de vacío para diferentes corrientes de excitación.

En vacío la f.e.m. generada aparece como una diferencia de potencial o tensión en bornes, de forma que:

$$E = V_b$$

b.-Ensayo en carga

A continuación se procederá a conectar una carga a la dinamo. Para ello se cerrará el interruptor correspondiente asegurándose antes de que el reostato está en su posición de máxima resistencia. Al entrar en carga la dinamo el motor auxiliar tendrá que realizar un trabajo mayor, por lo que las revoluciones de la máquina caerán. Esta caída será mayor cuanto mayor sea la intensidad de carga suministrada por la dinamo. Una vez estabilizada la velocidad de giro se irá aumentando la carga, disminuyendo el valor de la resistencia del reostato, observando cómo varían la tensión e intensidad generadas.

En carga la f.e.m. generada será la misma que en vacío, pero al circular una corriente de intensidad I, siendo r la resistencia interior de la dinamo, se produce una caída de tensión interior en la dinamo y aparece una diferencia de potencial o tensión en bornes, de valor::

$$E - r I = V_b$$

Rellénesse la siguiente tabla. Para ello debe mantenerse constante la corriente de excitación. Elegimos una intensidad de excitación de 100mA. La velocidad de giro debe ser también constante, eligiéndose una velocidad entre 1000 y 2000 rpm. Se irán tomando los datos de tensión e intensidad generadas para diferentes valores de la resistencia de carga. Como ésta tiene una graduación de 100 partes, se realizarán 10 medidas, tomando de 10 en 10 el aumento de la resistencia de carga.

VELOCIDAD DE GIRO: 1000 rpm			
INTENSIDAD DE EXCITACIÓN: 100 mA			
Posición reostato (%)	Tensión de salida (V)	Intensidad de carga (A)	Resistencia (Ω)
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			

Con los datos obtenidos en la tabla se confeccionará un gráfico de tensión/intensidad de generación.

Realícese la misma tabla pero con una velocidad de giro superior, confeccionando igualmente la misma gráfica.

Comprobar con las gráficas en la mano que los datos obtenidos en la práctica se corresponden con lo estudiado en la teoría, fundamentalmente que al aumentar la intensidad de carga disminuye la tensión generada.

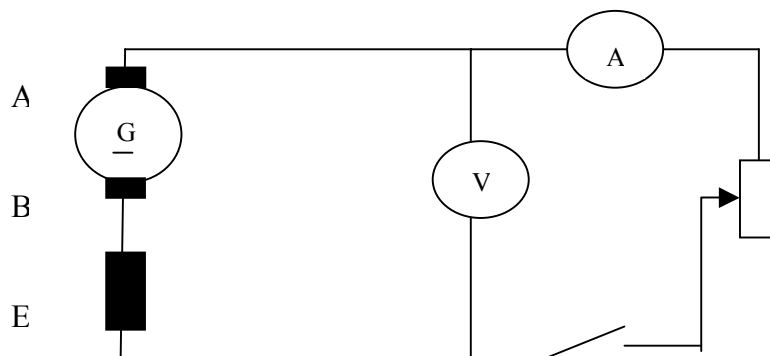
B.-DINAMOS AUTOEXCITADAS.

B.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado de la práctica vamos a estudiar las dinamos autoexcitadas, que son aquellas que no precisan una corriente externa de excitación. A continuación se describirá brevemente cada uno de los tres tipos de dinamos de autoexcitación con los que vamos a trabajar

DINAMO SERIE

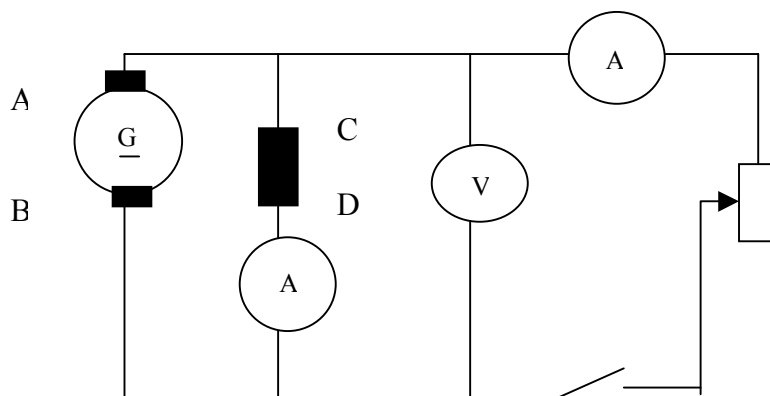
En este caso, como toda la corriente pasa por las bobinas del campo, suele tener pocas espiras y de hilo grueso con el fin de ofrecer poca resistencia a la corriente de carga. Trabajan en la parte de tensión constante para suministrar una corriente constante. En el esquema 2. tenemos su representación.



Esquema 2. Dinamo autoexcitación serie

DINAMO SHUNT.

El campo de esta dinamo consta de muchas espiras y de hilo fino, con el fin de emplear poca corriente para conseguir el campo necesario, y se encuentra conectado a la salida del inducido. La tensión de salida disminuye al aumentar la carga. En el esquema 3 tenemos su representación.

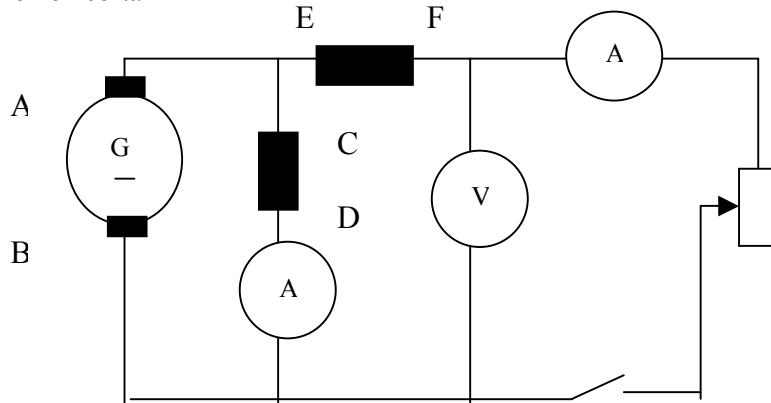


Esquema 3. Dinamo autoexcitación paralelo

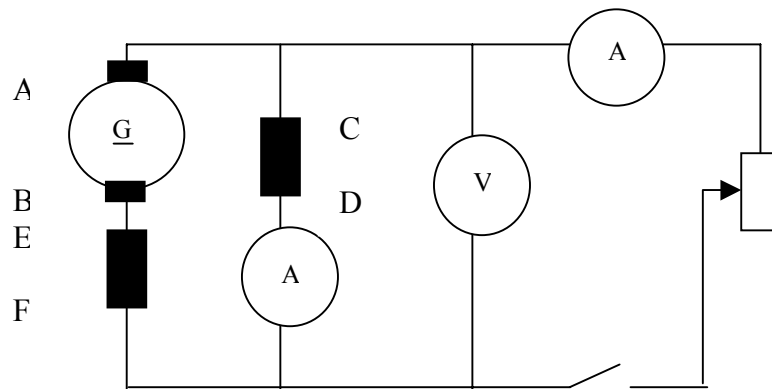
DINAMO COMPOUND.

El campo de esta dínamo tiene dos juegos de bobinas, uno que se encuentra en paralelo con el inducido y cuenta con muchas espiras de hilo fino como en la dínamo shunt y otro juego de bobinas que se encuentra en serie y son de pocas espiras e hilo grueso como en la dínamo serie. El efecto combinado de los dos campos hace que la tensión de salida sea casi constante e independiente de la corriente de carga. En los esquemas siguientes se representan los dos esquemas eléctricos posibles que se pueden realizar con en este tipo de máquina : a) conexión corta y b) conexión larga.

a.- Conexión corta



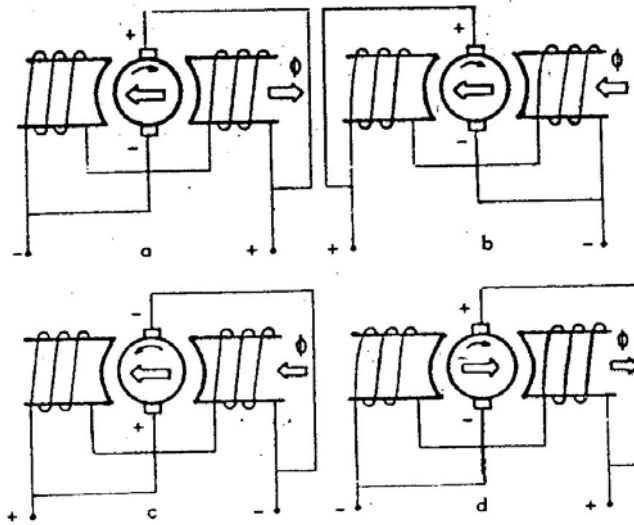
b.- Conexión larga.



Esquema 4. Dinamo autoexcitación compuesta

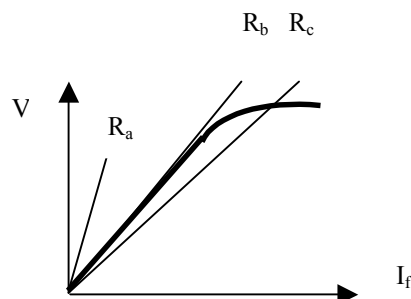
CEBADO DE LAS DINAMOS DE AUTOEXCITACIÓN

La corriente de excitación la suministra la propia máquina, tomando parte de la generada. Sin embargo, al comenzar el movimiento, no hay corriente de excitación ya que la máquina estaba en reposo, y al no haber corriente de excitación no se generará nada. Esto puede parecer un círculo vicioso, pero la realidad es bien distinta: En los polos inductores (donde se alojan los devanados inductores) queda un magnetismo residual que proviene de anteriores operaciones con la máquina. Con este pequeño magnetismo, que sustituye momentáneamente al campo magnético que deben crear las bobinas inductoras, se comenzará a inducir tensión en el bobinado inducido, con lo que ya se puede tomar corriente para los bobinados inductores. Este proceso inicial recibe el nombre de **CEBADO**. Veamos qué casos se pueden presentar:



a) El magnetismo residual de los polos inductores procedente de operaciones previas de la máquina tiene la polaridad indicada en la figura. La pequeña FEM generada en el inducido estará dirigida de tal forma que su corriente anula el magnetismo residual anulándose la FEM. En este caso la máquina no se ceba.

b) Se han invertido los terminales del inductor. La FEM generada en el inducido refuerza el magnetismo remanente incrementando la FEM. Existe un valor crítico de la resistencia del inductor por encima del cual no es posible el cebado de la máquina. Es preciso que la recta $V = R_f \times I_f$ corte a la característica en vacío de la máquina. $R_f = R_b$ es el valor crítico. Para cada velocidad se modifica la característica en vacío y también la resistencia crítica del inductor.



c) Se ha invertido el sentido de giro. También es posible el cebado de la máquina.

d) Aplicando una tensión continua exterior se ha invertido el signo del campo residual.

Las razones que impiden el cebado de una máquina son por tanto:

- Carencia del magnetismo remanente.
- Inversión de los terminales del devanado inductor.
- Excesiva resistencia en el circuito inductor debido a:
 - * Circuito abierto.
 - * Valor excesivo del reostato exterior.
 - * Contacto defectuoso en las escobillas.
 - * Colector sucio o grasiento.

B.2. MATERIAL

En esta parte de la práctica vamos a estudiar los tres tipos fundamentales de dinamos autoexcitadas: Excitación serie, shunt y compound.

- Para ello disponemos de una máquina con tres bobinados: El inducido y dos inductores, uno para conectar en serie y el otro en paralelo. Los esquemas de conexión para los diferentes tipos se tienen en las páginas anteriores esquemas 2, 3, 4).
- Como en el caso anterior el movimiento del eje nos lo proporciona un motor universal con un sistema de fácil de elección de velocidad.
- Para estudiar las dinamos autoexcitadas en carga, utilizaremos un reostato con una graduación de 0-100 partes.
- Aparatos de medida: voltímetros, amperímetros, tacómetros.

B.3. REALIZACIÓN PRÁCTICA

Realizar el montaje y conexionado del tipo de excitación elegida de acuerdo con los esquemas correspondientes, esquema 2 (dinamo de autoexcitación serie), esquema 3 (dinamo de autoexcitación paralelo) y esquema 4 (dinamo de autoexcitación compuesta).

Una vez comprobadas las conexiones se procederá a poner en funcionamiento el motor auxiliar, asegurándose antes de que la dinamo esté en vacío (interruptor abierto).

Regular la velocidad de tal manera que nunca se generen más de 250 V.

Si no se genera tensión alguna puede ser que la máquina no se haya cebado. Comprobar por tanto este supuesto y obrar en consecuencia.

B.4. ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO

a.- Ensayo en vacío

Una vez comprobado que se genera tensión se procederá a confeccionar la curva de vacío, por lo que iremos anotando las tensiones generadas para diferentes velocidades de giro. Repitiendo las medidas para cada tipo de dinamo de autoexcitación Se anotarán los valores en la siguiente tabla.

R.P.M.	Din. serie	Din. Paralelo	Din. Compuesta
	Tensión(V)	Tensión(V)	Tensión(V)
400			
600			
800			
1000			
1200			
1400			

Con los datos obtenidos en la tabla anterior dibujar las curvas de vacío para cada tipo de dinamo de autoexcitación (Tensión/velocidad).

a.-Ensayo en carga

A continuación se estudiará el comportamiento de las dinamos de autoexcitación serie, paralela y compuesta en carga. Para ello se procederá a cerrar el interruptor correspondiente, asegurándose antes de que el reostato de carga se encuentra en su posición de máxima resistencia.

Una vez puesto el circuito en carga se tomarán datos para realizar las curvas características de funcionamiento en carga para cada una de las dinamos de autoexcitación estudiadas. Para ello se tomarán datos de la tensión y corriente generadas para diferentes valores de la resistencia de carga. Como ésta tiene una graduación de 100 unidades, se incrementará la resistencia de 10 en 10 unidades, confeccionando una tabla similar a la segunda tabla como la siguiente para cada tipo de dinamo de autoexcitación. Por supuesto, en la confección de esta tabla la velocidad de giro debe ser en todo momento la misma. Elíjase un valor entre 750 y 1000 rpm.

VELOCIDAD DE GIRO: 1000 rpm			
DINAMO AUTOEXCITACIÓN SERIE			
Posición reostato (%)	Tensión de salida (V)	Intensidad de carga (A)	Resistencia (Ω)
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			

VELOCIDAD DE GIRO: 1000 rpm			
DINAMO AUTOEXCITACIÓN PARALELO(SHUNT)			
Posición reostato (%)	Tensión de salida (V)	Intensidad de carga (A)	Resistencia (Ω)
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			

VELOCIDAD DE GIRO: 1000 rpm			
DINAMO AUTOEXCITACIÓN COMPUESTA(COMPOUND)			
Posición reostato (%)	Tensión de salida (V)	Intensidad de carga (A)	Resistencia (Ω)
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			

Con los datos obtenidos en la tabla anterior, dibujar la característica de la dínamo en carga (tensión/intensidad).

Para terminar el alumno deberá realizar un comentario sobre las cuatro máquinas estudiadas en el que verterá las conclusiones que haya obtenido a la vista del desarrollo de la práctica.

Comentar los datos obtenidos en las diferentes tablas así como en las gráficas y explicar las ventajas e inconvenientes de cada una de las máquinas.