



UNIVERSIDAD NACIONAL **DE CÓRDOBA**

MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

TEMAS

GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA

Parte 2

Autor: Ing. Gabriel Serra.

Colaboración Ing. Enrique Alonso

CONMUTACION Y REACCION DEL INDUCIDO,

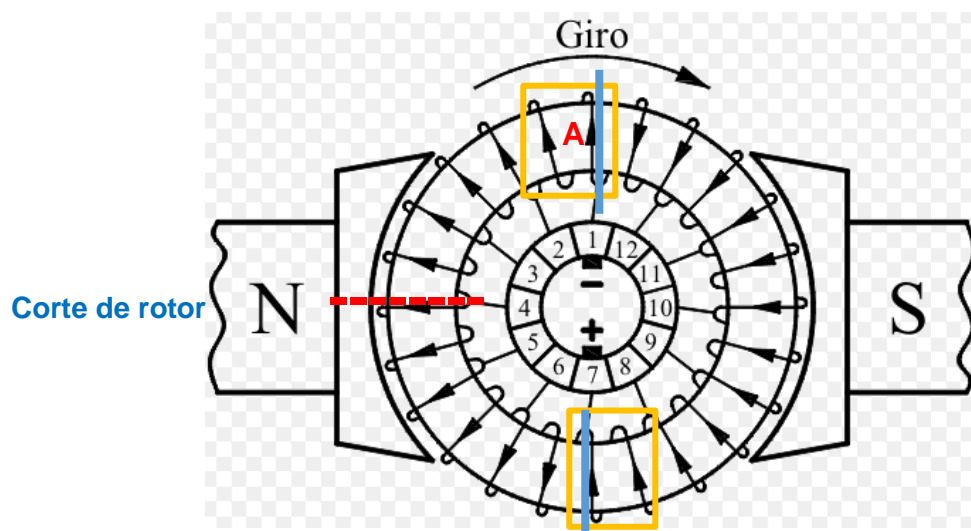
Son dos temas que, si bien son diferentes están estrechamente relacionados, dado que todo lo que realicemos para mejorar alguno de ellos, nos traerá consecuencias sobre el otro, por ello suele ser complicado cual de ellos se plantea primero.

CONMUTACIÓN

La conmutación es el pasaje de una bobina de una rama a la otra, lo cual trae aparejado su inversión de la corriente, este fenómeno ocurre en forma simultánea sobre dos bobinas.

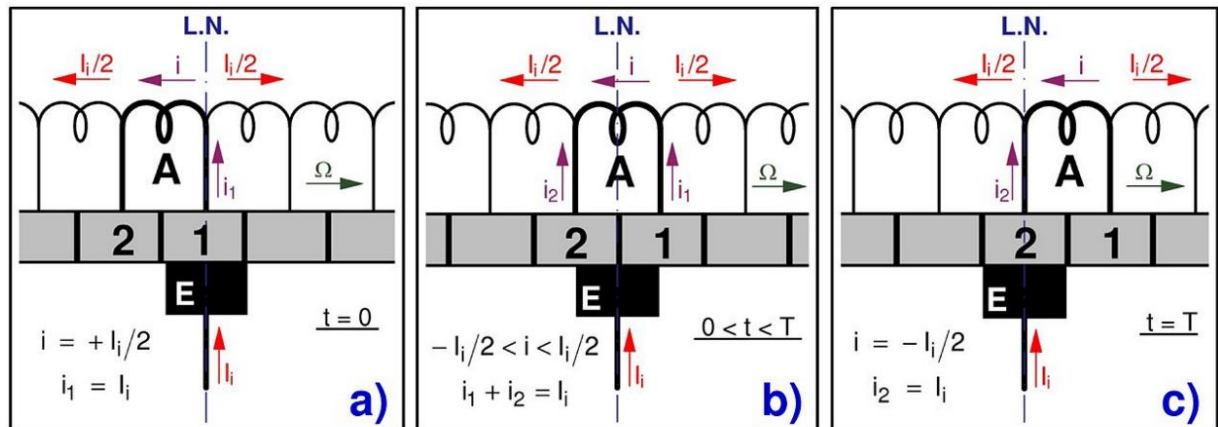
Analizaremos detenidamente los fenómenos que ocurren en el fenómeno de la conmutación. Haremos el análisis para el anillo de Gramme pero las conclusiones que se saquen son válidas para cualquier tipo de bobinado.

Para el posterior análisis, consideraremos al sistema inducido como desplegado horizontalmente, para ello realizaremos un corte sobre el rotor tal como lo indicado en línea roja (veremos solo una porción del bobinado, donde está ubicada la bobina a conmutar.



Las bobinas en recuadro naranja son las que van a conmutar. Realizaremos el análisis para la bobina superior, identificada como A. Las líneas celestes equidistantes entre las zapatas polares son líneas neutras o zonas neutras geométricas (luego veremos que están en diferente posición que las zonas neutras magnéticas)

Al estar el rotor en movimiento, habrá un periodo de tiempo desde el momento en que la delga 1 está en completo contacto con la escobilla, llamando a este tiempo 0 (gráfica a)), hasta que la delga 2 esté en pleno contacto con la misma escobilla, a este tiempo llamaremos T (siendo este el tiempo necesario para realizar la conmutación) (gráfica c)). Adicionalmente en el periodo medio de tiempo entre 0 y T, la mitad de la delga 1, estará en contacto con media escobilla y la mitad de la delga 2, estará en contacto con la otra mitad de escobilla. (gráfica b))



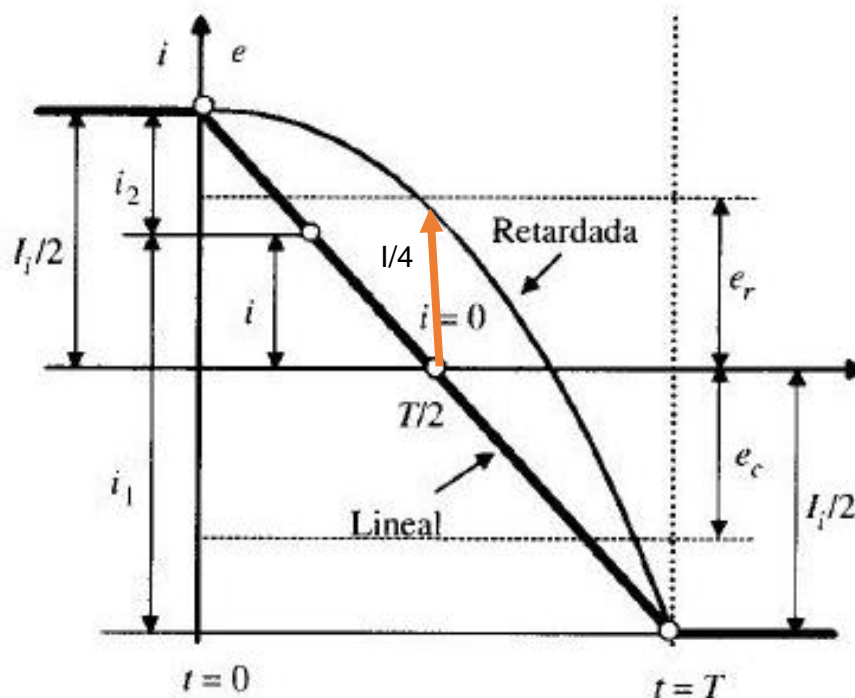
L.N. = Línea neutra; **T** = Período de conmutación;

A = Bobina del devanado inducido en anillo; **E** = Escobilla; **1, 2**: Delgas

Conmutación de una bobina (A) de un devanado en anillo. La bobina A está conectada a las delgas 1 y 2. La escobilla (E) está situada sobre la línea neutra y tiene igual ancho que las escobillas (en la realidad una escobilla suele ser más ancha y contacta con varias delgas simultáneamente). Se supone que sólo hay dos escobillas por lo que la corriente que circula por una escobilla es la corriente total del inducido I_i . En la Fig. (a) comienza la conmutación de la bobina A y en (c) termina. En la Fig. (b) se muestra un instante intermedio durante la conmutación.

¿Cuál sería la condición ideal de variación de corriente en la bobina A, en el tiempo T?

La condición ideal es de una variación lineal de esta corriente, desde una $I_i/2$ (considerada como positiva en grafica), hasta una $I_i/2$ de sentido opuesto (considerada negativa en la gráfica. Representada por línea gruesa en grafica.





Si consideramos una condición como la graficada de retardada, donde suponemos que en $T/2$, tenemos una corriente de $I/4$, del sentido previo a la conmutación (línea naranja de grafica), tendremos que para $t = T/2$

Delga 1:

$$I = \frac{I}{2} + \frac{I}{4} \Rightarrow \frac{3}{4} \cdot I \text{ (Para } \frac{1}{2} \text{ delga 1 con media escobilla)}$$

Delga 2:

$$I = \frac{I}{2} - \frac{I}{4} \Rightarrow \frac{1}{4} \cdot I \text{ (Para } \frac{1}{2} \text{ delga 2 con media escobilla)}$$

Esto nos expresa que, si tenemos la misma superficie de contacto delga escobilla, tendremos el triple de corriente sobre media delga 1, lo cual significa nueve veces mas disipación de potencia, lo que genera mayores perdidas y mayor calor, uno de los principales enemigos de las maquinas eléctricas dado que dañan principalmente a los aislantes.

Si la conmutación se efectuara por la característica lineal, tendremos que para $t = T/2$

Delga 1:

$$I = \frac{I}{2} \Rightarrow \text{(Para } \frac{1}{2} \text{ delga 1 con media escobilla)}$$

Delga 2:

$$I = \frac{I}{2} \Rightarrow \text{(Para } \frac{1}{2} \text{ delga 2 con media escobilla)}$$

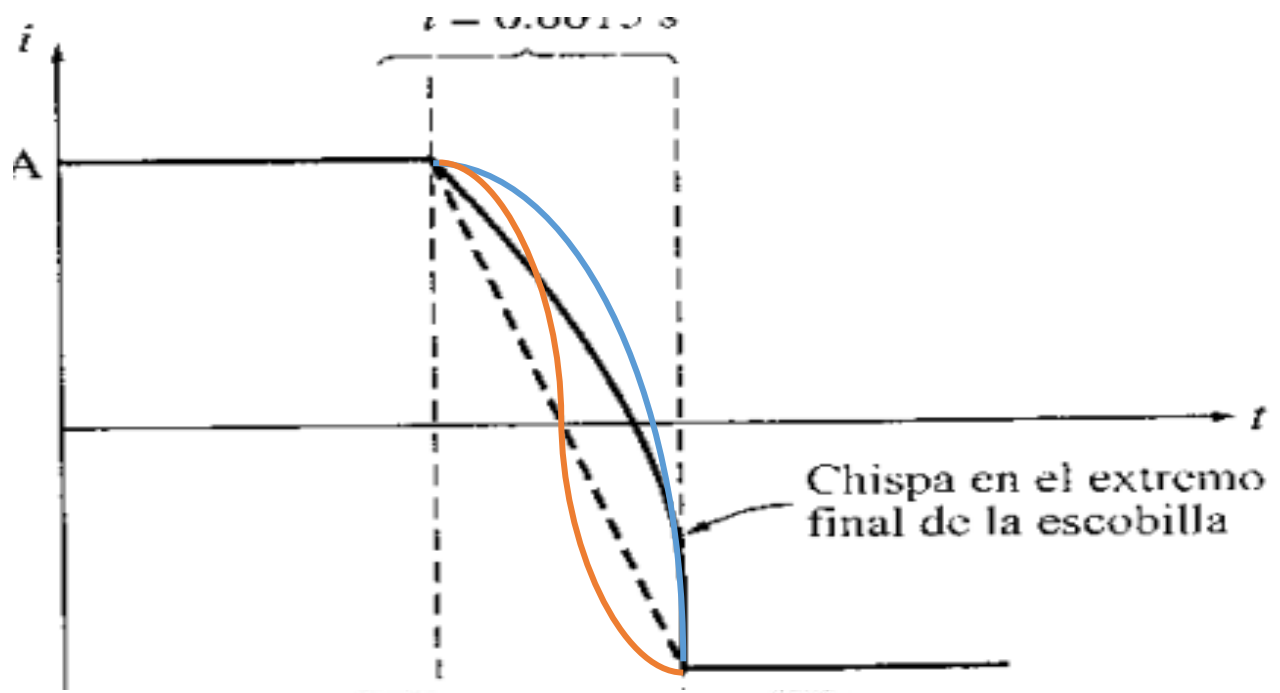
En este caso vemos que las corrientes son equivalentes a las superficies de contacto, lo cual nos asegura una densidad de corriente uniforme en todo contacto delga colector, disminuyendo la potencia disipada, con menor disipación térmica. Esto nos deja claro que la mejor característica de variación de corriente en la bobina que esta conmutando es la lineal, respecto al tiempo u ángulo.

¿Cuáles son los fenómenos que nos llevan a apartarnos de la característica lineal y llevarnos a una característica tal como la retardada?

Son dos efectos, el primero de ellos es la propia característica de la bobina, es un circuito R/L, lo cual tratará de oponerse y demorar cualquier cambio de corriente (línea negra en la gráfica) y el segundo es un efecto de fem de movimiento, nosotros suponíamos que estábamos conmutando una bobina en zona neutra, sin presencia de campo magnético, pero en la realidad tenemos un campo magnético generado por lo que veremos es la reacción del inducido, lo cual genera un campo entrante sobre la bobina A, generando una tensión que impulsa una corriente del mismo sentido que consideramos positivo, lo cual hace que se sume al efecto inductivo y

en conjunto nos llevan a una característica aún más atrasada (línea celeste en la grafica). Esto puede llegar a ser una condición tan crítica que no logre invertirse la corriente el tiempo T . Y al cumplirse el tiempo T existirá todavía un ΔI a realizarse, y un lapso de tiempo muy breve para el mismo con lo que debido al elevado di/dt al separarse la delga de la escobilla producirá un arco mediante el cual se cumplirá el transitorio. Esto es el origen de la existencia de un contante chisporroteo que no es deseable por varias razones:

1. Significa perdida de energía.
2. Deteriora las delgas (las quema) y al colector.
3. Produce calentamiento excesivo.



Este fenómeno debe ser corregido (aproximarlo a la característica lineal) para lo cual existen dos recursos:

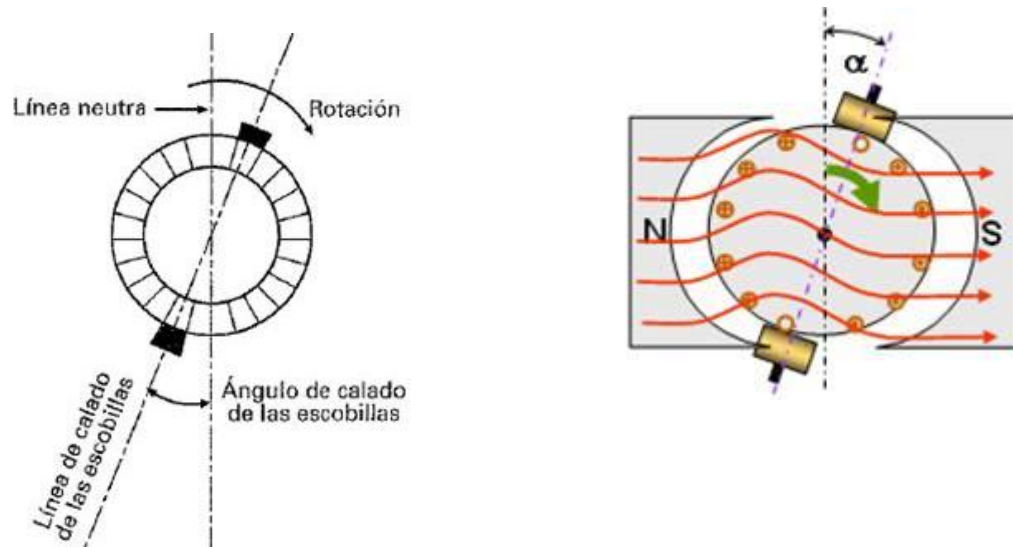
- a) Corrimiento de escobillas.
- b) Incorporación de polos de conmutación.

En ambos casos se trata de favorecer el cambio de la corriente para que la misma alcance el valor deseado en el tiempo T

Analizaremos ambos casos en forma más detenida:

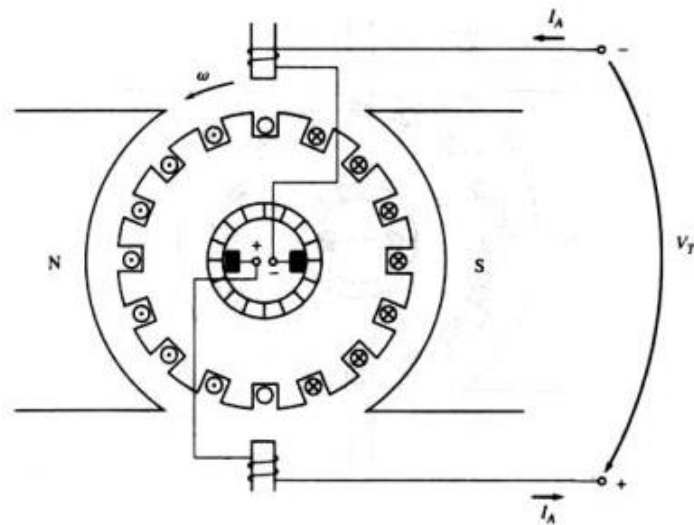
a) El corrimiento de escobillas:

La desviación de las escobillas debe hacerse en el mismo sentido de giro del generador hasta que el eje de las mismas coincida con la perpendicular al campo resultante o un poco más a los fines de colocarlo bajo efecto de polo opuesto y generar una fem opuesta al efecto L/R, que compense ambos efectos y los anule entre sí. (Figura anexa). El inconveniente que conlleva este sistema es que, al ser el valor del campo transversal de reacción del inducido dependiente de la corriente que absorba el inducido, la desviación de la escobillas será la adecuada para una corriente determinada. Para una corriente mayor o menor, la desviación de las escobillas también tendría que ser diferente



b) . Polos de conmutacion:

Los polos de conmutación se disponen entre las zapatas polares del generador, tal que el sentido del campo fijen su polaridad correspondiente al polo siguiente, conforme al sentido de giro (de sentido contrario al flujo transversal de reacción del inducido), de tal forma que produzcan un campo magnético transversal del mismo valor, a algo superior, a los fines de compensar el efecto L/R . Para que esto sea así, los polos de conmutación se conectan en serie con el inducido (rotor), para que la corriente que pasa por ellos sea igual que la del inducido, de esta forma, cuando crece el campo transversal de reacción del inducido por un aumento de corriente, también lo hace el flujo de compensación producido por los polos de conmutación. Con ambas correcciones lo que se logra es similar a la curva de color naranja, representada en la gráfica de la página anterior.

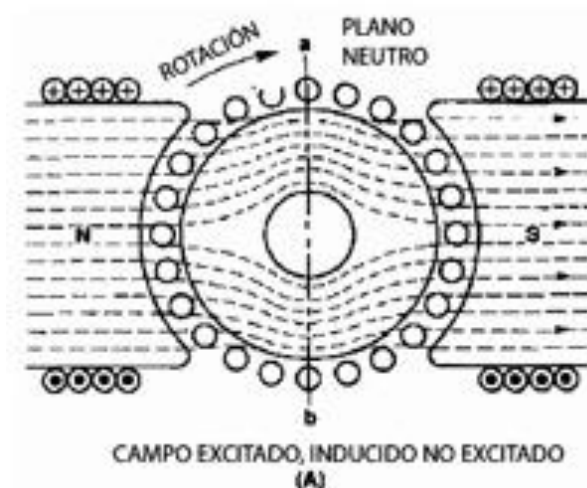


REACCION DEL INDUCIDO:

Se entiende por este tema el fenómeno que se produce al originarse un campo magnético adicional al circular una corriente por los bobinados inducidos (rotor), donde genera su propio campo e interfiere al campo principal generando un nuevo campo distorsionado.

Veamos esto en detalle:

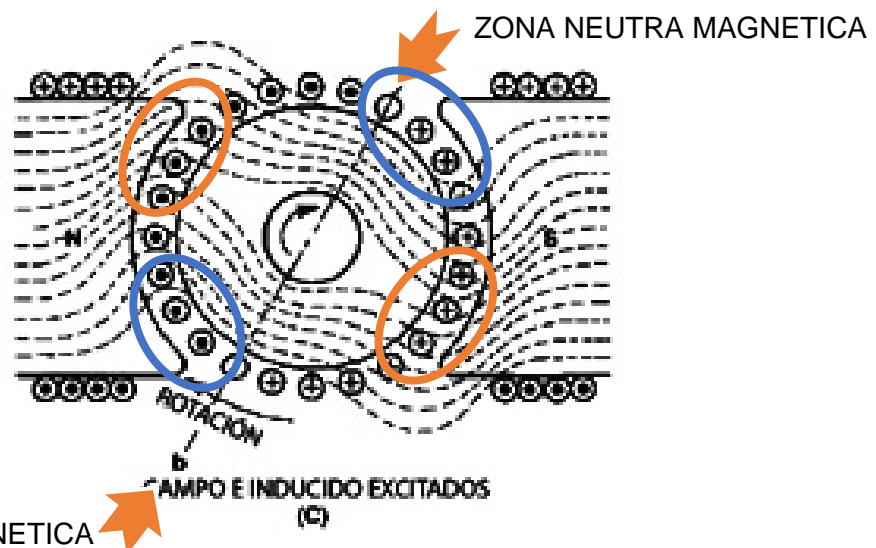
Al trabajar el generador existe el campo magnético del inductor (estator), al que podemos considerar simétrico



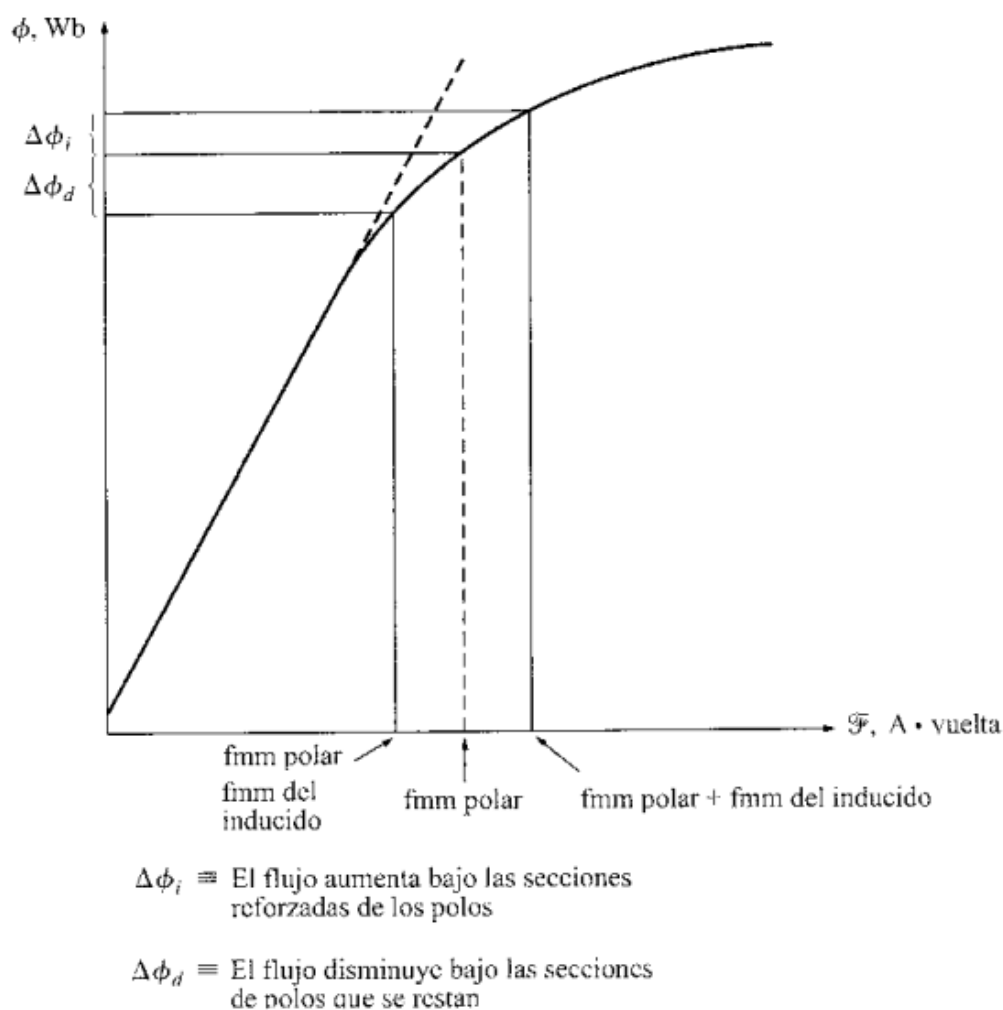
Al circular una corriente por el bobinado generara a su vez un campo magnético cuya línea de campo se ven en la figura b.



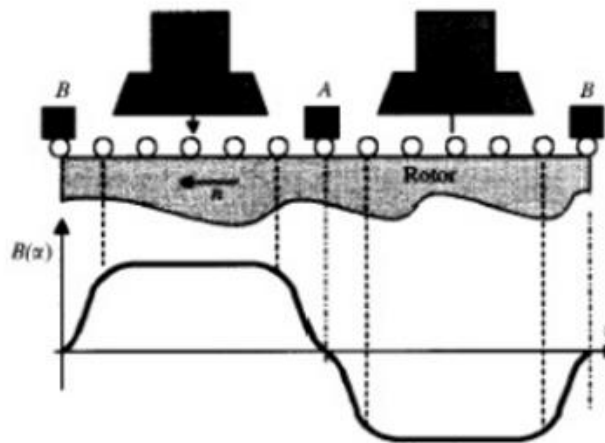
La superposición de ambos campos produce un efecto distorsionante del campo magnético principal siendo el efecto de tal sentido que se produce un refuerzo en los bordes salientes de los polos, zonas de elipses naranjas (de acuerdo al sentido del movimiento) y un debilitamiento en los bordes entrantes, zonas de elipses celestes. No solo provoca una distorsión del campo, si no que además genera un corrimiento de la zona neutra, desde la geométrica a la zona neutra magnética



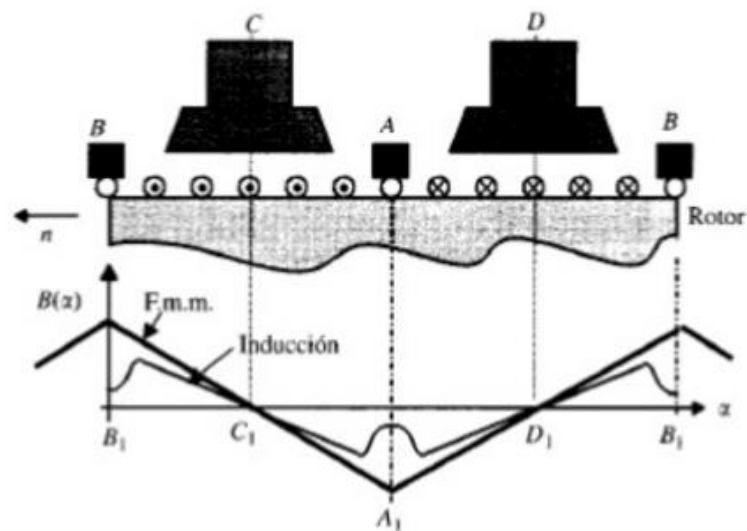
Aparentemente no habría alteración en cuanto a la tensión generada ya que habría una compensación entre las zonas reforzadas y debilitadas, pero habitualmente no ocurre así en razón que el materia ferromagnético, se dimensiona para trabajar cerca de la zona de saturación, a fin de lograr un mejor aprovechamiento del mismo, tal como el punto a de la curva y en consecuencia el efecto debilitante resulta ser mayor que el de refuerzo.



Lo que podemos observar en la grafica superior, sobre el eje X, correspondiente a la magnitud de la fmm, vemos hacia la derecha un incremento de la fmm, dada en las zonas naranjas, de la gráfica en página anterior, y hacia la izquierda una disminución de la fmm, dada en las zona celestes, de la misma gráfica, ambas provocadas por efecto de la reacción del inducido (la corriente circulando por el bobinado del rotor). Si bien estas magnitudes del incremento y decrementos son iguales, si nos remitimos al eje y, donde tenemos representado el flujo, vemos que el incremento se da hacia la zona de saturación del material ferromagnético, no así el decremento, el cual se da hacia la zona lineal de este material, dando como resultado que la disminución de flujo es de mayor magnitud que el incremento del mismo, lo cual provoca que el flujo total por polo disminuya, siendo esto más significativo, con el incremento la corriente en el inducido.

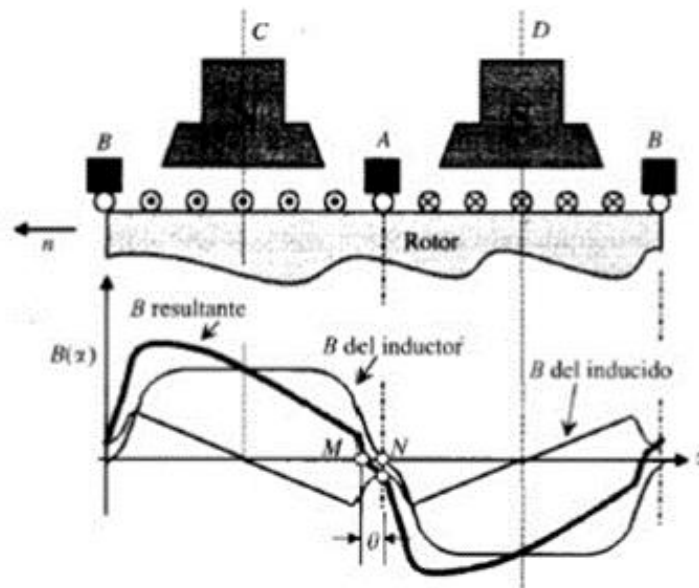


Si analizamos la grafica superior, podemos ver como se distribuye la densidad de flujo a lo largo de los 360°, sobre la superficie del rotor, considerando este estático. El area representa el flujo total suministrado por el inductor.



En esta gráfica, hemos simbolizado, los sentidos de las corriente sobre el bobinado del inducido, salientes con punto y entrantes con cruz, lo cual nos va a generar una curva de fmm, conforme a la linea gruesa de la gráfica superior. Este valor de fmm, es directamente proporcional a la magnitud de la corriente.

En linea de trazo continuo mas debil, podemos ver la distribucion de la densidad de flujo, como vemos esta curva copia en su forma, en la zona de enfrentamiento de zapata polar y rotor, donde el entrehierro es minimo y constante, el mismo se debilita en las zonas entre zapatas polares, motivado por el incremento del entre hierro, si bien los valores de fmm en esta zona son mayores, la magnitud del entre hierro hace que la densidad de flujo disminuya notablemente, en este sentido tengamos presente que se requiere el mismo valor de fmm, para establecer una densidad de flujo en 1 milimetro de aire, que en un circuito de 10000milimetros (10 metros) de material ferromagnetico (considerando un valor de $\mu_r = 10000$).



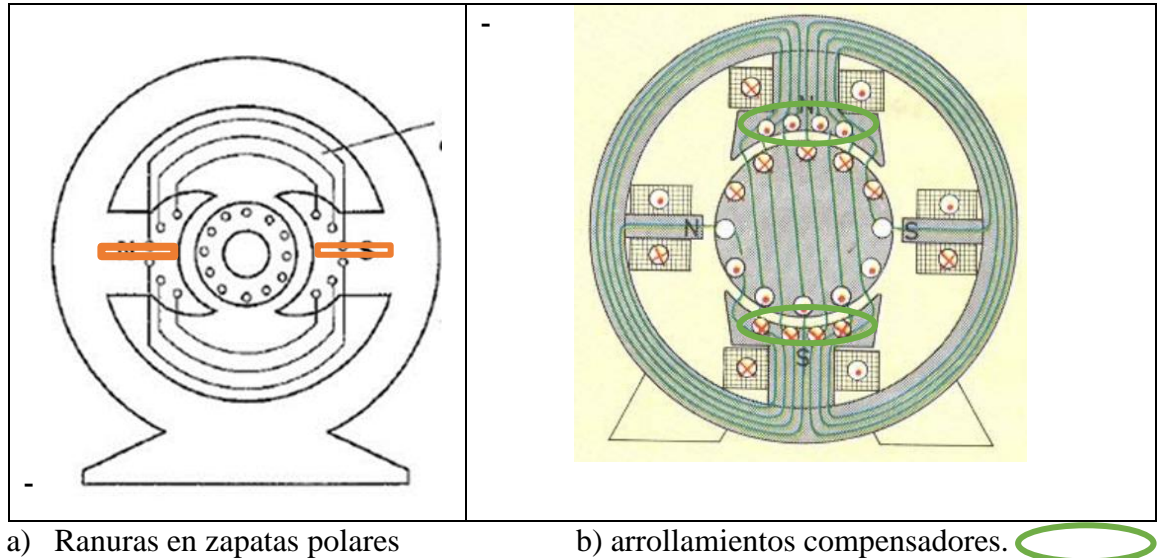
En la grafica superior, hemos incluido todas las curvas, adicionalmente y en trazo mas grueso tenemos la curva de la densidad de flujo resultante, y su area el flujo total, esta es la curva que resultante de la interaccion del flujo principal y el de reaccion del inducido, esta curva representa la suma angulo a angulo, de la curva del flujo inductor y del flujo de reaccion, obteniendo el flujo resultante, pero como vemos si sumamos dos valores del mismo signo se produce la saturacion y no es suma lineal, es menor dado por la saturacion, y los de diferentes signos, la resultane es la diferencia, dado que estamos sobre l zona lineal de la caracteristica magnética. Como resultado final, tenemos los siguientes efectos:

- El nuevo valor de flujo, es inferior al generado por el flujo principal, el ser menor el flujo genera menor valor de fem ($E=k.\Phi.n$), si adicionalmente rotamos las escobillas este efecto se magnifica.
- Se produce el corrimiento de la zona neutra, desde la posicion equidistante de las zapatas polares, a la nueva posicion en sentido de giro de la mquina, representado en la grafica por θ .

Estos dos efectos son proporcionales a la magnitud de la corriente.

Cuales son las correcciones que se pueden realizar a fin de minimizar los efectos de reaccion del inducido, estos son los siguientes:

- Ranurado en la zapata polar, en sentido longitudinal de la misma a los fines de crear un camino de mayor reluctancia al flujo de reaccion del inducido, provocando una disminucion del mismo. Este ranura practicamente no afecta al flujo principal.
- Arrollamientos compensadores, los mismos se instalan en ranuras efectuadas sobre las zapatas polares, donde se alojan los conductores, los cuales se conectan en serie con el inducido, siendo las corrientes enfrentadas de sentido contrario, lo cual provoca la cancelacion del flujo de reaccion, con el generado por los arrollamientos compensadores. Al ser un bobinado en serie, provocan perdidas ($R_{com} \cdot I^2$)

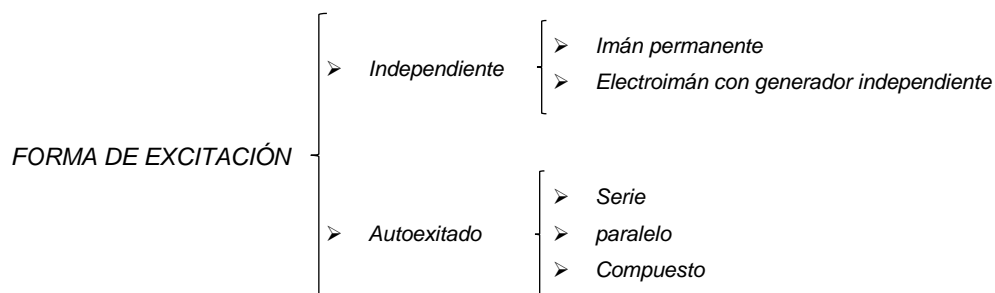


CARACTERISTICAS DE LOS GENERADORES SEGÚN LA FORMA DE EXITACION.

Se ha visto que de acuerdo al principio de funcionamiento de los generadores, debe existir un elemento inductor que sea el campo magnético principal que será el que produzca sobre los conductores del rotor el fenómeno de inducción que generara finalmente la tensión de salida del sistema.

Es de gran importancia en la respuesta del generador la forma en que es generado este campo o “forma de excitación.”

De este punto de vista se hace la siguiente división:



La excitación independiente se obtiene como su nombre lo indica, sin que exista participación de la propia tensión generada y puede ser lograda por un imán permanente o un electroimán alimentado en forma independiente (batería u otro sistema).

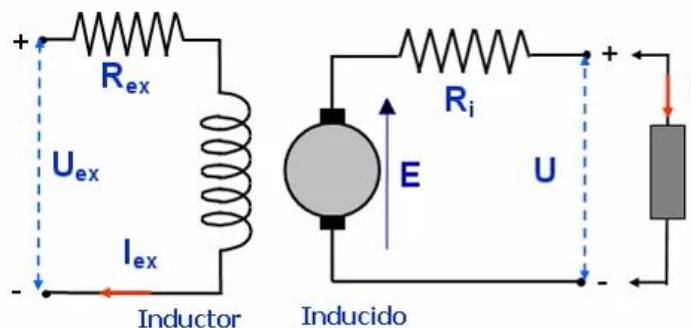
Los generadores auto excitados son tales que el circuito que alimenta las bobinas del inductor esta alimentado por el propio generador y se los distingue por la forma en que el circuito inductor está conectado con el resto del sistema (serie o paralelo), el caso compuesto es una combinación de ambos.

En todos los casos estudiaremos las características de funcionamiento lo cual significa estudiar la respuesta del generador en función de la variación de los distintos factores que intervienen en la generación. Iremos viendo cada uno de los casos.

Generador con excitación independiente:

Consideraremos el caso en que el inductor es un electroimán alimentado por una fuente independiente.

Simbólicamente:



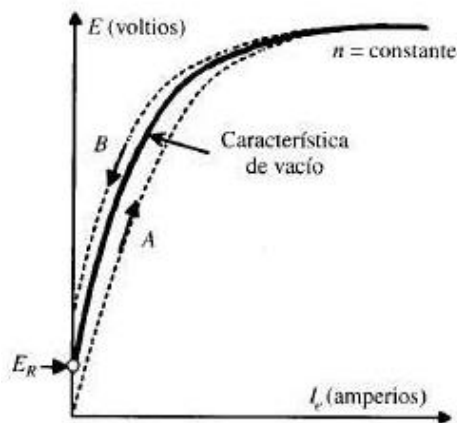
Habíamos visto que la tensión generada era:

$$E = \frac{Z}{d} \cdot \Phi \cdot P \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} = (cte) \cdot n \cdot \Phi = K \cdot n \cdot \Phi$$

Con lo cual quedan evidenciados los factores sobre los que se puede actuar para logra distintas respuestas, siendo estas el flujo que podrá modificarse actuando sobre la corriente de excitación I_e y el número de vueltas n que dependerá del elemento mecánico (motor) que produce el movimiento.

Esto dará origen a las **curvas características de vacío**, que son las que podemos representar la tensión generada E , en función de los parámetros que podrán ser variables (Φ , o I_{ex} y n)

Si suponemos el estudio para un determinado valor de n , la tensión será directamente proporcional al flujo y este en función de la corriente de excitación, tendrá una variación que estará asociada a las propiedades magnéticas del inductor. En general será una curva con características similares a la de histéresis.



Característica en Vacío (n)

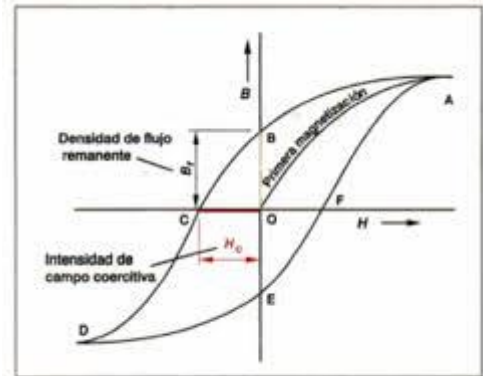
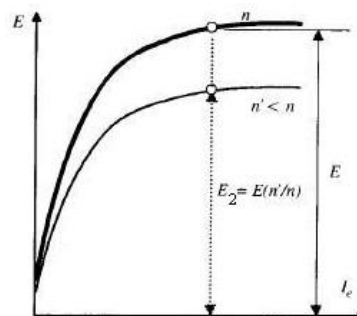


Figura 1: Curva de histéresis.

curva anexa de informacion solamente

En la gráfica superior, donde graficamos E (tensión a circuito del inducido, o de carga, abierto, es decir sin corriente del inducido), en función de la I_{ex} , corriente el circuito del inductor, válida para un solo número de revoluciones constante, para otros valores de n se tendrían curvas paralelas a esta. Obsérvese que la curva tiene una zona de crecimiento lineal y luego se aplana por la saturación del hierro. En la misma la curva A, corresponde a un material sin magnetización previa y la curva en negrita corresponde a la característica de vacío (de un material previamente magnetizado), Estas curvas son directamente equivalentes a las curvas de flujo (E es proporcional al flujo). El valor de E_R , es el correspondiente al magnetismo remanente, que poseen todos los materiales ferromagnéticos.

En la curva inferior, podemos ver la misma curva anterior, pero para dos diferentes valores de n , n y n' , donde $n > n'$.

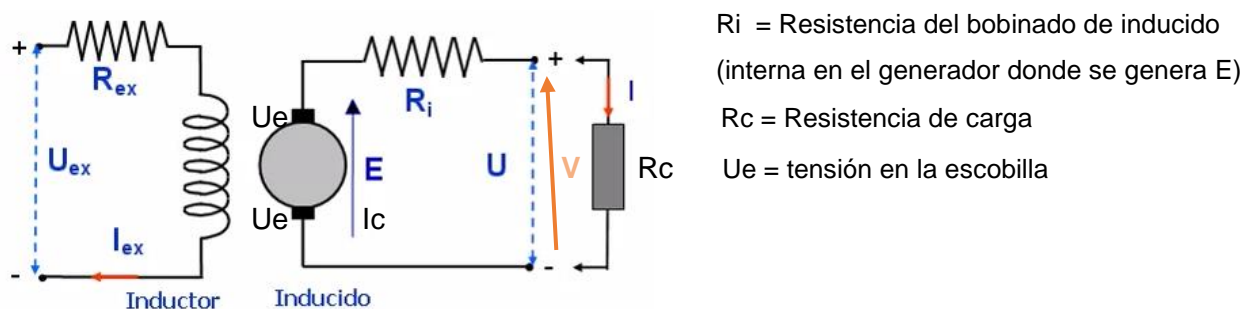


Si mantenemos el flujo constante, o lo mismo es para un imán permanente, el valor de E , es directamente proporcional a n , es decir una característica lineal, con un limite en lo que se refiere a n , dado por la resistencia mecánica de los elementos componentes del rotor.

Seguidamente analizaremos la **característica de carga**, es decir como varia la tensión de salida V , en función de la corriente de carga o del inducido. Para este análisis supondremos que mantenemos constante E , lo cual implica mantener constante nivel de excitación y número de revoluciones.

Para ello analizaremos el circuito a través de una carga, con un valor variable de esta, que nos permita desde un valor cero hasta su corriente nominal. (corriente nominal es aquella a la que esta diseñado el generador para suministrar la misma en forma constante e indefinida)

Supongamos entonces que en vacío se está generando una cierta tensión E .

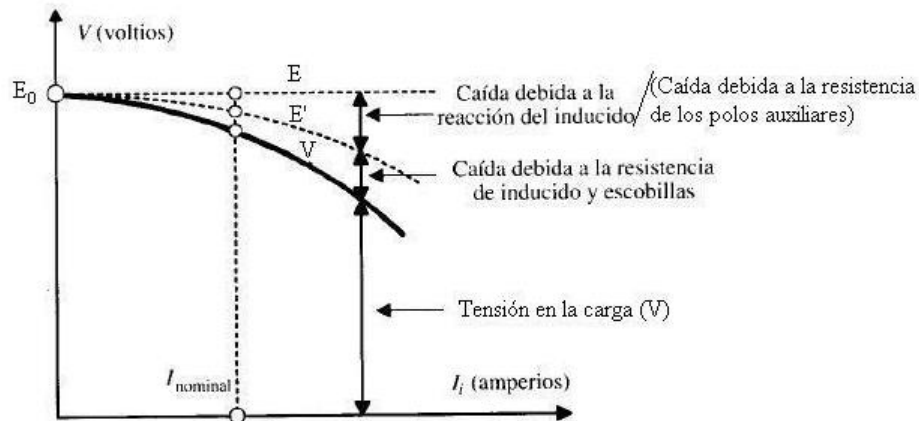


Veremos cómo se modifica este valor de la tensión de salida, la cual alimenta a la carga (V), en función de la corriente de carga, es decir la corriente que circula por el inducido, al comenzar a circular la misma, comenzara a provocar caídas de tensión interna en el generador, dada por la siguiente ecuación:

$$V = E - i_c \cdot R_i - \Delta V_{ri} - 2 \cdot U_e$$

Entonces la tensión de salida del generador será la generada en vacío (E), menos las caídas que podemos distinguir: una caída debida a la resistencia de los conductores del inducido (resistencia del bobinado de cobre R_i), la variable (ΔV_{ri}) no es tan fácilmente evaluable ya que este fenómeno es de naturaleza más compleja pero también podrá ser considerado proporcional a la corriente ya que esta es el principal origen de ese fenómeno y finalmente las caídas de tensión en las escobillas (en general este es un valor constante, el cual aparece con un mínimo valor de corriente y no varía con esta, sus valores usuales son desde 0.3 a 0.8 voltios).

En definitiva, podemos representar la característica de carga del generador:



En definitiva, vemos que existe una disminución de la tensión entregada por el generador a medida que crece la corriente de carga.

Se define como cociente de regulación a la relación:

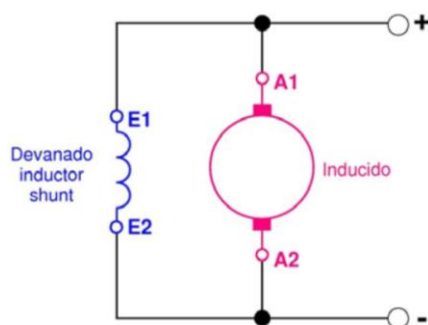
$$\xi_r = \frac{E_0 - V_t}{V_t} \cdot 100$$

V_t = Tensión en plena carga (corriente nominal)

Un menor valor de este coeficiente, nos indica que la tensión de salida no variara tanto en función de la corriente de carga..

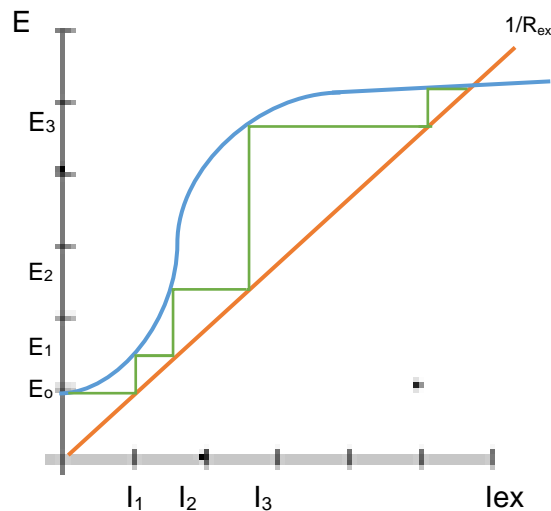
Generadores auto excitados en paralelo:

Simbólicamente:



Características en vacío:

Supongamos conocer la curva de características en vacío que se obtendría para el generador si fuera excitado en forma independiente, previamente magnetizado, y para un determinado valor de n.



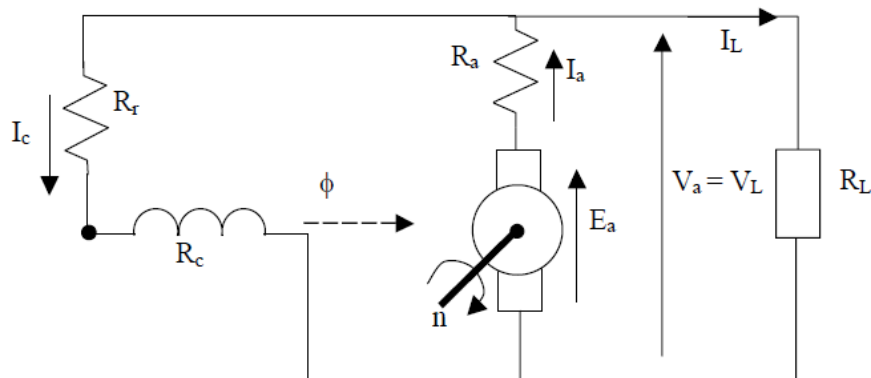
Si consideramos que el circuito de excitación posee una resistencia dada por su bobinado R_{ex} , el cual está conectado en paralelo al inducido, y sin conectar resistencia alguna al circuito de carga, y teniendo en cuenta que el material fue previamente magnetizado, iniciamos el funcionamiento a un número de revoluciones n , y que la corriente que toma el circuito de excitación es despreciable respecto a la corriente nominal del inducido, en un primer instante generará una tensión E_0 , la que permitirá fluir una corriente por el circuito de excitación de un valor I_1 , siendo para esta corriente la tensión inducida por circuito magnético de E_1 , la cual suministrará una corriente I_2 , y así sucesivamente hasta el punto donde se cruzan la característica alineal del material ferromagnético y la resistencia de excitación. Siendo este el punto de equilibrio para el funcionamiento en vacío.

cual dado a la resistencia del circuito como se produce el fenómeno desde el momento en que la máquina es puesta en movimiento inicialmente aun sin que circule corriente de excitación se genera un valor de E_i debido al magnetismo remanente del inductor, inmediatamente esta pequeña tensión hará circular una corriente I_{ei} la que a su vez hace que la tensión generada aumente con lo que a su vez produce el incremento de I_{ex} y así sucesivamente hasta llegar al punto de equilibrio en donde se estabiliza el funcionamiento del generador. (Despreciamos en esta fase las caídas internas en el inductor)

Entonces en vacío el punto de equilibrio o funcionamiento será el de intersección entre la recta $E = I_{ex} \cdot R_e$ y la curva de $E = f(I_{ex})$.

Obsérvese que para que el generador funcione es imprescindible que exista el magnetismo remanente y que el circuito inductor esté conectado de manera que tienda a aumentar el valor de ese campo ya que si se conecta al revés se producirá una desmagnetización y se equilibrará a un valor de tensión inferior al de magnetismo remanente, donde circulara una mínima corriente desmagnetizaste.

Características de carga:



En la figura superior, vemos hacia izquierda circuito de excitación y a derecha circuito de carga, en el circuito de excitación se agregó una resistencia R_r , la cual puede o no estar presente, para nuestro análisis no cambiara ningún resultado. La resistencia R_a , es la resistencia de armadura o inducido.

La corriente del inducido I_a , está compuesta por la suma de una corriente de excitación I_c , y una corriente de carga I_L . Ambos circuitos están alimentados por la misma tensión, $V_a = V_L$,

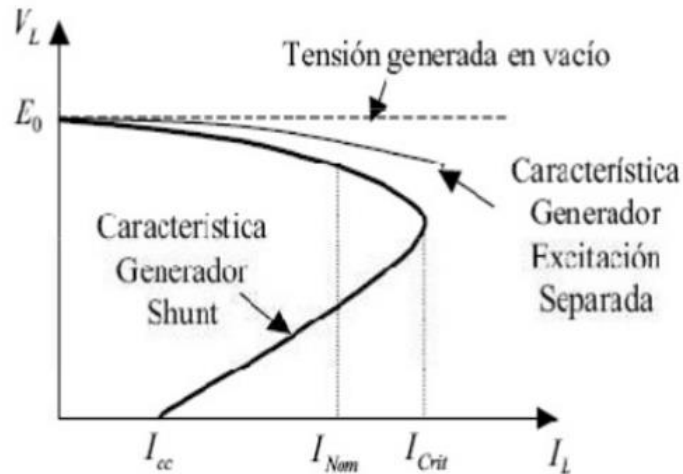
Nos interesa determinar el valor de la tensión de salida para distintas condiciones de funcionamiento (diferentes valores de I_L).

Ahora, al igual que en el generador con excitación independiente, la tensión generada será afectada por la caída interna ($I_a \cdot R_a$), la caída por reacción del inducido (ΔV_{ri}), la caída de tensión en las escobillas ($2 \cdot U_e$) y adicionalmente por la caída de tensión de alimentación del circuito de excitación, aquí esta tensión disminuye al aumentar la corriente de carga, lo cual provoca una disminución de corriente de excitación, lo que provoca una disminución de la fem generada E , que supusimos constante, por ello agregamos esta nuevo termino que compensa esta caída de tensión de generación, fem, provocada por la disminución de la corriente de excitación a causa de la caída de su tensión de alimentación, esta caída la denominaremos ΔV_{ex} , variación de tensión de alimentación del circuito de excitación, que es lo que lo diferencia del generador de excitación independiente.

$$V = E_0 - I_a \cdot R_a - \Delta V_{ex} - 2 \cdot U_e$$

$$I_a = I_c + I_L$$

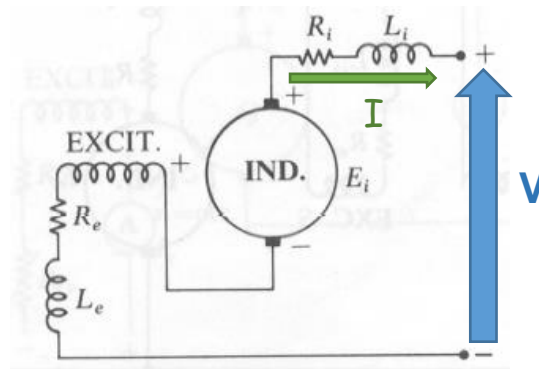
Adicionalmente, este tipo de generador tiene una protección si se cortocircuita a bornes, su corriente de corto circuito (I_{cc}), difícilmente supere 3 o 4 veces la corriente nominal, debido a que no habrá corriente de excitación, $V=0$, y su corriente solo la provee la tensión generada por el magnetismo remanente, la cual es muy baja.



Vemos que la curva de este tipo de generador posee más caída, que el de excitación independiente, al aumentar la corriente de carga.

Generadores auto excitados en serie:

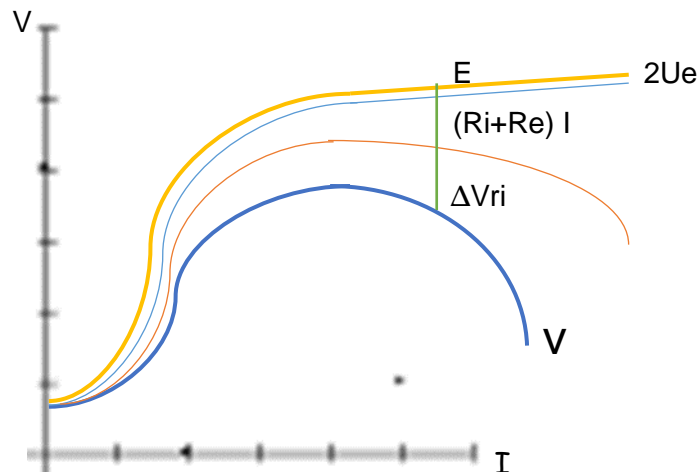
En este caso la corriente es única y es de excitación y de carga a su vez.



En el esquema anterior, se puede visualizar separada la componente inductiva de las bobinas de inducido y excitación (es mas en la excitación se esquematizo bobina, y separada su resistencia e inductancia), esto generalmente no se esquematiza dado que hablamos de generadores de continua, y solo afectaría un pequeño instante de un transitorio, en régimen no inciden.

R_e , que es la de la bobina de excitación, generalmente es llamada R_s , de serie.

En vacío, la única posibilidad de generación es debido al magnetismo remanente E_o . En carga, la tensión generada crecerá en función de la corriente.



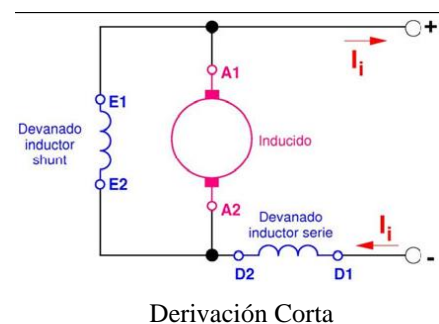
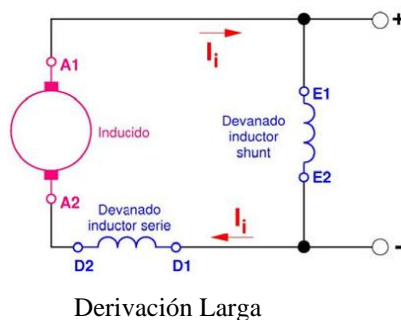
Si tomamos como referencia la curva de tensión E (color naranja), que se generaría con una excitación independiente sobre la bobina serie, esta se verá decrementada por las caídas por resistencias en serie, por efecto de reacción del inducido y las de las 2 escobillas.

$$V = E - I \cdot (R_i + R_e) - \Delta V_{ri} - 2U_e$$

LA curva representada en azul, es la que nos fija el valor de tensión en la carga, para cada valor de corriente.

En una primera parte de la curva la tensión E es creciente pero luego al entrar en la zona de saturación la tensión ya no aumenta, pero si las caídas por lo que la tensión tenderá a disminuir. Teniendo en cuenta la caída por la reacción del inducido, el efecto de disminución será mayor. La utilización de estos generadores suele estar asociado a su propiedad de la primer parte de la curva en donde la tensión crece con la corriente por lo que suelen ser usados como correctores de tensión en líneas de transmisión colocándolos al final de la línea para compensar las caídas por perdidas en la línea que son proporcionales a la corriente regulándolos para que agreguen esa caída.

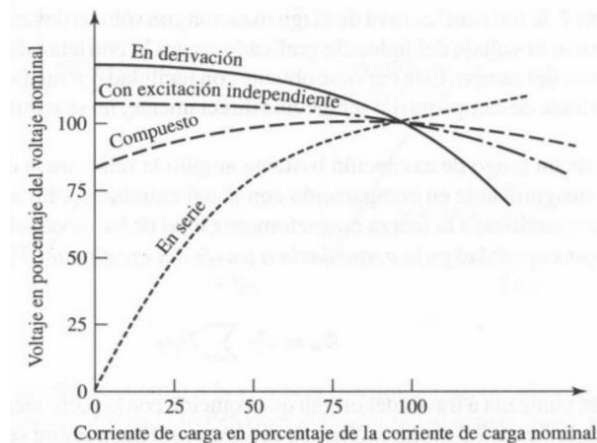
Generadores compuestos:





Consisten en tener parte de los bobinados de excitación en serie y parte en paralelo. Existen dos tipos de conexiones, denominadas derivación corta o larga, dependiendo donde se ubique la bobina serie, sea con la corriente de derivación o no, no cambiando sustancialmente su funcionamiento.

Evidentemente, la característica de la curva $V = f(I_c)$, dependerá de la proporción de campo que proporcione cada bobina, la serie o la derivación, lo cual determinará que su característica este mas cerca de un generador derivación o generador serie.



Se pueden dividir en tres tipos de generadores compuestos que podemos clasificar como:.

- Sobrecompundado (mayor incidencia campo serie al derivacion)
- Compundado (campo serie de incidencia moderada a fin de mantener $V = \text{cte}$, hasta I_n).
- Compundaje diferencial (campo serie opuesto al de derivacion)

