

UNIDAD 1

Introducción a las máquinas eléctricas.

Las maquinas eléctricas son dispositivos técnicos muy antiguos y tradicionales que, lejos de ser superados por los avances de la tecnología, se emplean actualmente en forma masiva.

Nuevos materiales metálicos, nuevos aislantes y nuevas formas estructurales aparecen continuamente en la construcción de estas maquinas, con lo que se puede afirmar que su evolución no se detiene y acompaña el progreso tecnológico.

El profesor de física Hans Oersted descubrió en 1820 que una corriente genera un campo magnético. En 1831 Michael Faraday encontró a su vez, que un campo magnético variable produce una fuerza electromotriz inducida sobre esos dos trascendentes pilares se edifica toda la teoría de las maquinas eléctricas actuales, y la transformación de la energía eléctrica a escala industrial.

En la historia de las maquina eléctricas deben destacarse dos figuras posteriores a estos hechos relatados. En 1885 Galileo Ferraris inventa el motor asíncrono a inducción, maquina eléctrica rotativa que podemos afirmar que se trata del motor más importante actualmente. Un colaborador de Thomas Alva Edison y estudioso de la electricidad, Charles Steinmetz otorgó gran desarrollo al transformador, maquina estática que permite la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias y la distribución a gran escala.

Clasificación de las maquinas eléctricas

Partamos de una definición inicial: MAQUINA ELÉCTRICA es un mecanismo destinado a transformar energía de una forma a otra, una de las cuales, por lo menos, es eléctrica.

En base a este punto de vista puramente funcional y general, podemos hacer la primera clasificación como sigue:

| | |
|-----------------|---|
| GENERADORES | Maquinas que transforman energía mecánica en eléctrica |
| MOTORES | Maquinas que transforman energía eléctrica en mecánica |
| TRANSFORMADORES | Maquinas que transforman energía eléctrica de una forma en otra |

Tabla 1. Clasificación maquinas eléctricas

Desde un punto de vista más acorde con las normalizaciones a las maquinas eléctricas es posible agruparlas en la forma que sigue, conforme tengan o no órganos en movimiento:

- MAQUINAS ELECTRICAS ESTATICAS
 - Transformadores
 - Autotransformadores
 - Rectificadores (convertidores de corriente alterna a corriente continua)
- MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS
 - Generadores de corriente continua
 - Motores de corriente continua
 - Generadores síncronos
 - Motores síncronos
 - Motores asíncronos trifásicos
 - Generadores asíncronos
 - Motores de corriente alterna a colector
 - Generadores de potencia reactiva.

¿Qué es un campo magnético?

Un campo magnético es una idea que usamos como herramienta para describir cómo se distribuye una fuerza magnética en el espacio alrededor y dentro de algo magnético.

La mayoría de nosotros estamos familiarizados con objetos magnéticos cotidianos y reconocemos que pueden existir fuerzas entre ellos.

Comprendemos que los imanes tienen dos polos y que dependiendo de su orientación se atraen (polos opuestos) o se repelen (polos iguales), y sabemos que existe una región alrededor de ellos donde esto sucede. El campo magnético describe esta región.

Típicamente representamos el campo magnético de dos maneras diferentes:

1. Describimos matemáticamente el campo magnético como un *campo vectorial*. Podemos representar directamente este campo como un conjunto de vectores dibujados en una cuadrícula. Cada vector apunta en la dirección en la que lo haría una brújula y su magnitud depende de la fuerza magnética. Arreglar muchas brújulas en un patrón de cuadrícula y colocar este patrón en un campo magnético ilustra esta técnica. La única diferencia en este caso es que una brújula no muestra la intensidad del campo.

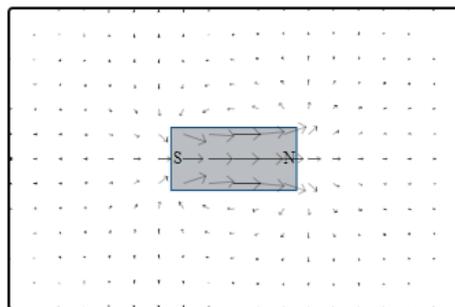


Ilustración 1- representación del campo vectorial para un imán de barra

2. Una forma alternativa para representar la información contenida en un campo vectorial es por medio de las *líneas de campo*. En esta representación, omitimos la cuadrícula y conectamos los vectores con líneas suaves. Podemos dibujar tantas líneas como queramos.

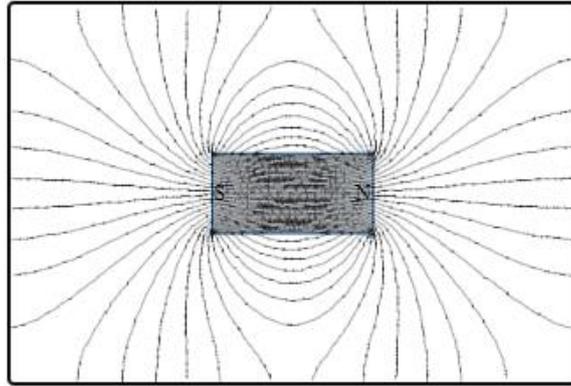


Ilustración 2-representación del campo de un imán de barra por medio de líneas de campo

La descripción por medio de líneas de campo tiene algunas propiedades útiles:

- Las líneas de campo magnético nunca se cruzan.
- Las líneas de campo magnético se amontonan de forma natural en las regiones donde el campo es más intenso. Esto significa que la densidad de líneas de campo indica la intensidad del mismo.
- Las líneas de campo magnético no comienzan ni terminan en algún lugar, siempre forman curvas cerradas y continúan dentro de un material magnético (aunque no siempre las dibujamos de esta forma).
- Necesitamos una manera de indicar la dirección del campo. Para esto, a menudo dibujamos flechas sobre las líneas, aunque a veces no lo hacemos. En estos casos, debemos indicar la dirección de alguna otra forma. Por razones históricas, la convención es etiquetar una región como "norte" y otra como "sur" y dibujar solo las líneas que van de uno a otro "polo", así como suponer que las líneas van **de norte a sur**. Usualmente colocamos las etiquetas "N" y "S" en los extremos de una fuente de campo magnético, aunque, estrictamente hablando, esto es arbitrario y no hay nada especial sobre estas regiones.
- En el mundo real, podemos visualizar las líneas de campo de forma sencilla. Comúnmente lo hacemos con limadura de hierro esparcida alrededor de una superficie cercana a algo magnético. Cada partícula de la limadura se comporta como un pequeño imán con un polo norte y un polo sur. Las partículas de limadura naturalmente se separan unas de otras porque los polos similares se

repelen. El resultado es un patrón semejante a las líneas de campo. Mientras que el patrón general siempre será el mismo, la posición exacta y la densidad de las líneas de limadura dependen de cómo caen sus partículas, su tamaño y sus propiedades magnéticas.

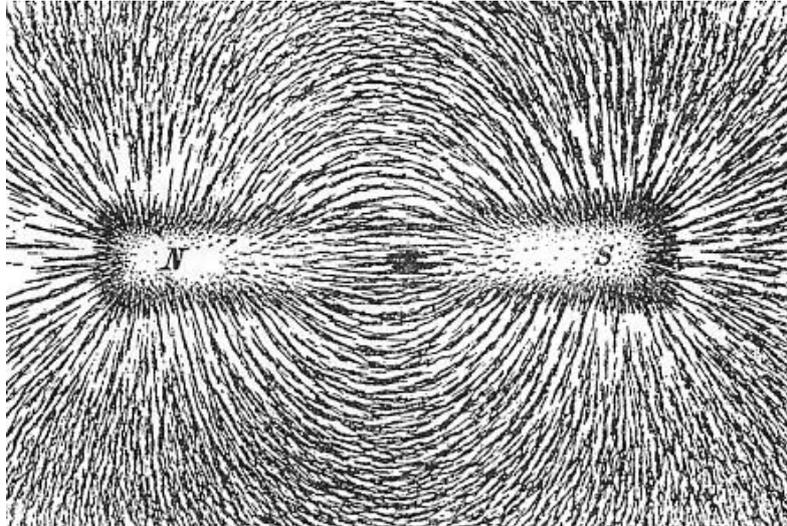
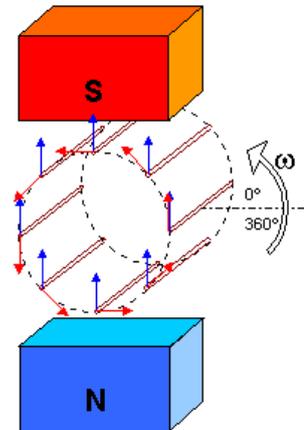


Ilustración 3-líneas de campo magnético alrededor de un imán de barra visualizadas por medio de limadura de hierro

Producción de corriente alterna (senoidal)

Si hacemos girar una espira en el interior de un campo magnético, se inducirá en cada conductor una fuerza electromotriz inducida de valor:

$$e = \beta \cdot L \cdot v \cdot \text{sen } \alpha$$

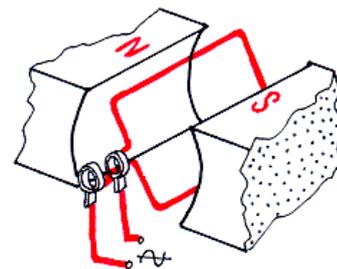


Siendo α el ángulo entre la inducción magnética y la velocidad o sentido del movimiento que, como se ve en la figura, varía de 0° a 360° a cada vuelta del conductor.

β es la densidad de campo, L es la longitud de la espira, v es la velocidad de rotación.

Si la espira está formada por un conductor de ida y otro de vuelta, en la espira se induce una f.e.m.:

$$e = 2 \cdot \beta \cdot L \cdot v \cdot \text{sen } \alpha$$



Si la bobina tiene N_e espiras:

$$e = 2 \cdot N_e \cdot \beta \cdot L \cdot v \cdot \text{sen } \alpha$$

Para evitar el enrollamiento de los conductores es necesario dotar al conjunto de unos anillos rozantes.

Si mantenemos constante la inducción del campo y la velocidad de giro, siéndolo también el número de conductores y la longitud de los mismos, tendremos:

$$2 \cdot N_e \cdot \beta \cdot L \cdot v = e_{\max} \text{ Constante}$$

$$e = e_{\max} \cdot \text{sen } \alpha$$

Como puede deducirse de la fórmula la f.e.m. resultante tendrá forma senoidal.

Si además expresamos el ángulo girado en función de la velocidad angular:

$$\omega = \alpha / t \quad \alpha = \omega \cdot t$$

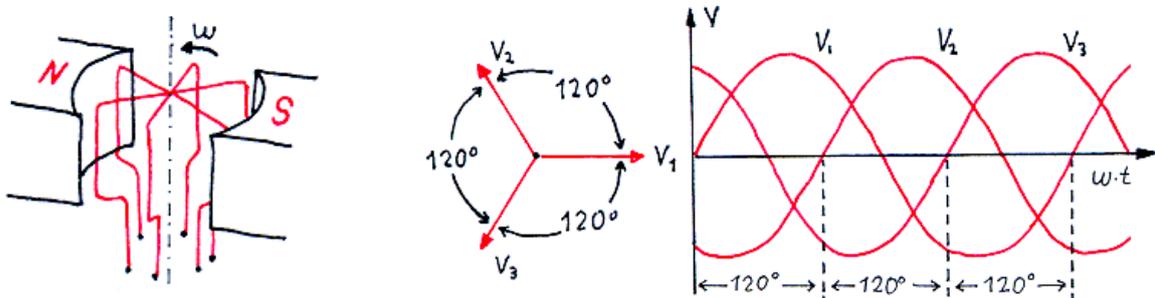
$$e(t) = e_{\max} \cdot \text{sen } \omega \cdot t$$

Donde $\omega \cdot t$ representa el ángulo girado en radianes, siendo ω la velocidad angular en rad/s.

Generación de CA trifásica

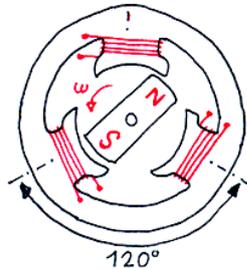
Haciendo girar una espira en un campo magnético se puede conseguir una corriente alterna senoidal (monofásica).

Si en vez de una única espira hacemos girar tres espiras a 120° ($360^\circ/3$) unas de otras, se consiguen tres tensiones alternas senoidales de igual frecuencia y amplitud pero desfasadas 120° entre sí:

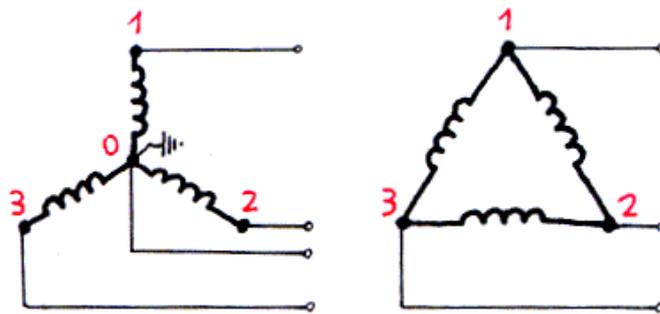


Para sacar las tensiones al exterior sería necesario un sistema de anillos rozantes y escobillas colectoras que, a las tensiones usuales, de 10 a 20 kV, generan ciertos problemas eléctricos y mecánicos.

En los alternadores modernos se sitúan las bobinas en el estator dotando al rotor de un potente electroimán que, al ser alimentado por una corriente continua, genera el campo magnético. Se evita de esta forma el complejo sistema de anillos colectores.



Existen dos formas básicas de conexión de estas bobinas a las líneas exteriores: *conexión en estrella* y *conexión en triángulo*.



Tensión simple o de fase: Cada bobina del alternador trifásico se comporta como un generador monofásico, generando entre sus terminales una tensión denominada simple o de fase.

Tensión compuesta o de línea: De cada borne 1, 2 y 3 de la figura sale un conductor de línea. A la tensión entre dos líneas se le denomina compuesta o de línea.

En el caso de la conexión estrella puede existir un cuarto conductor **NEUTRO** (saliendo del borne 0). Las tensiones de una línea al neutro coinciden con las tensiones en cada bobina, siendo por tanto tensiones de fase.

Perdidas en las maquinas

No toda la energía que se le entrega a una maquina eléctrica, es totalmente restituida por ella bajo otra forma de energía a la salida. Existe en su interior una serie de inevitables perdidas de energía que se deben estudiar, y que se transforman en calor. Para este estudio es corriente clasificar a las perdidas en las maquinas eléctricas en la forma que sigue:

- Perdidas eléctricas. Llamadas perdidas en el cobre
- Perdidas magnéticas. Llamadas perdidas en el hierro
- Perdidas mecánicas. Llamadas perdidas por rozamiento
- Perdidas adicionales, de menor cuantía y de diversa naturaleza.

Perdidas Eléctricas

Por los circuitos eléctricos de las maquinas circulan corrientes que, a consecuencia de la inevitable resistencia que presentan, desarrollan una potencia que se transforma en calor por efecto Joule. A esas potencias, que no se pueden aprovechar, las llamamos perdidas eléctricas o perdidas en el cobre. (P_{cu})

En términos generales se las puede expresar del siguiente modo:

$$P_{cu} = \sum I_i^2 \cdot R_i$$

Se ha tomado la sumatoria porque la mayor parte de las maquinas tienen más de un circuito interno, y dichos circuitos son recorridos por corrientes diferentes y tiene diferentes valores óhmicos.

Perdidas magnéticas

Las pérdidas en el hierro son de dos tipos y aparecen cuando en los elementos componentes de los circuitos magnéticos, existen flujos variables. Se trata de las perdidas por histéresis P_h y las perdidas por corrientes parasitas P_p .

Las primeras corresponden a los fenómenos de imanación cíclica del hierro de los circuitos magnéticos, mientras que las segundas atañen a las corrientes parasitas que se forman en las piezas macizas de hierro a causa de los flujos variables.

Por lo tanto, las llamadas perdidas totales en el hierro se pueden expresar como la suma de:

$$P_{fe} = P_h + P_p \text{ [Watt/kg]}$$

Perdidas mecánicas

Este tipo de perdidas aparece en las maquinas rotantes y se deben a la presencia de los siguientes fenómenos físicos:

- Rozamiento en los cojinetes en que se apoyan los ejes de giro
- Rozamiento de escobillas contra colectores, o contra anillos rozantes.
- Rozamiento de las partes móviles con el aire
- Potencia que absorben los sistemas de enfriamiento o de ventilación

En todos los casos, un cálculo detallado de cada una de estas pérdidas impone un estudio particularizado y conocer además las características de cada componente involucrado

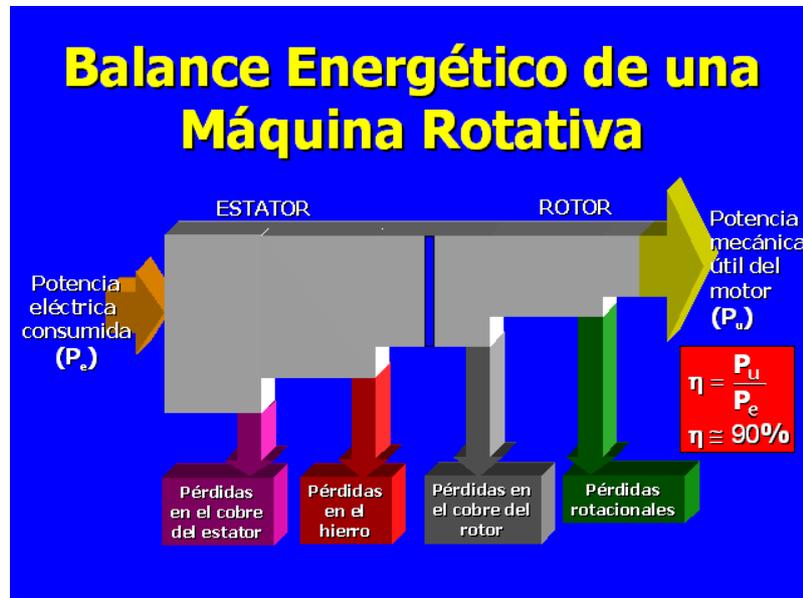
Por esta razón, se puede afirmar que las tres primeras pérdidas son en general función de la primera potencia de la velocidad de giro "N". En cambio, los sistemas de ventilación se rigen por fórmulas que denotan que la potencia demandada, es por lo regular función de la tercera potencia de la velocidad N

$$P_m = a \cdot N + b \cdot N^3$$

Perdidas adicionales

Existen en las maquinas unas series de otras pequeñas perdidas de orígenes diversos, debidas a efectos secundarios en el cobre, en el hierro y en los mismos elementos estructurales de soporte. Tales perdidas, algunas de

difícil evaluación, las normas aconsejan valorizarlas por medio de estimaciones aproximadas. En lo que sigue, a las pérdidas adicionales se señalan con P_{ad} .



Rendimiento

De acuerdo con las definiciones dadas, toda máquina se encarga de transformar energía. Esto nos indica que recibe una potencia que, adelante se llamará potencia absorbida P_a , y que entrega otra potencia que llamaremos potencia útil P_u . No pudiendo la maquina ser un mecanismo perfecto, ocurrirá que $P_a > P_u$.

$$P_a - P_u = P_p$$

P_a = Potencia absorbida

P_u = Potencia útil

P_p = pérdidas totales.

$$P_a = P_u + P_p$$

$$P_p = P_{cu} + P_{Fe} + P_m + P_{ad}$$

El rendimiento se define por medio de la siguiente relación:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

A esta expresión se la conoce como el rendimiento efectivo. Mientras tenemos otra que es:

$$\eta = \frac{P_a - P_p}{P_a} = 1 - \frac{P_p}{P_a} = 1 - \frac{P_p}{P_u + P_p}$$

A esta última se la conoce como el rendimiento convencional.