

Guía Teórica 5

Conversión Electromecánica y Almacenamiento de Energía Eléctrica

1. Introducción

1.1 Un poco de historia...

Los antiguos Griegos ya poseían una noción de electromagnetismo debido a que habían observado que frotando un pequeño pedazo de ámbar (piedra preciosa de origen vegetal) aparecían chispas y que luego al acercarlo a paja o plumas, éstas eran atraídas. La palabra ámbar en griego es *elektron*, origen del término Electricidad.

La Fuerza Magnética, una de las cinco fuerzas más importantes de la naturaleza junto con la Fuerza de Atracción Universal, fue por primera vez experimentada por los Griegos en Magnesia, donde al tener pedazos de un cierto material llamado magnetita un material ferromagnético como el hierro era atraído.

El científico Charles Coulomb descubrió la forma de la Fuerza Eléctrica para un par de cargas, la que es inversa al cuadrado de la distancia entre las cargas. Hasta principio del siglo XIX se tenía la idea que ambos fenómenos: Electricidad y Magnetismo, estaban relacionados pero sin saber cómo.

Sin embargo, Oersted observa en 1820 como la aguja de una brújula cambia de sentido al acercar un circuito por el que pasa una corriente eléctrica.

Ampere demuestra matemáticamente que al acercar un imán a un conductor, se genera una corriente eléctrica en dicho conductor.

Faraday es el encargado de demostrar como una densidad de flujo magnético genera una fuerza electromotriz (f.e.m.) lo que da el primer paso a un Generador Eléctrico.

En 1873 James Clerk Maxwell expone las mundialmente famosas “Ecuaciones de Maxwell”, las que gobiernan todos los fenómenos ElectroMagnéticos en la actualidad. Este trabajo es considerado del mismo peso que las Leyes de Newton en el mundo científico.

Alrededor de 1888 Heinrich Hertz verifica las ecuaciones de Maxwell obteniendo ondas electromagnéticas en su laboratorio. A estas alturas, los estudios de Maxwell eran reconocidos no tan solo por la comunidad científica sino también por todos los ciudadanos del mundo.

Desde este punto en adelante, científicos de todos lados del mundo han usado las Ecuaciones de Maxwell para desarrollar distintas tecnologías. Dentro de estas tecnologías juegan un rol importante Transformadores, Motores y Generadores, encargados de la generación y distribución de la Energía Eléctrica.

1.2 ¿Qué es el Campo Magnético?

El campo magnético es un campo de fuerza que produce cambio de dirección en partículas que poseen una carga eléctrica característica y que se desplazan a una cierta velocidad.

Este campo magnético puede ser producido por un imán permanente natural (magnetita) o por una corriente eléctrica. Se presenta normalmente como líneas de campo magnético.

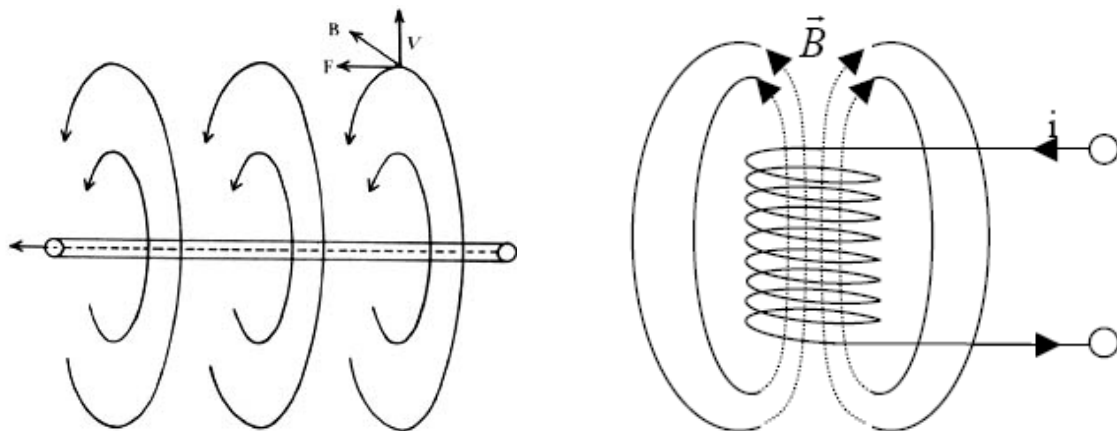
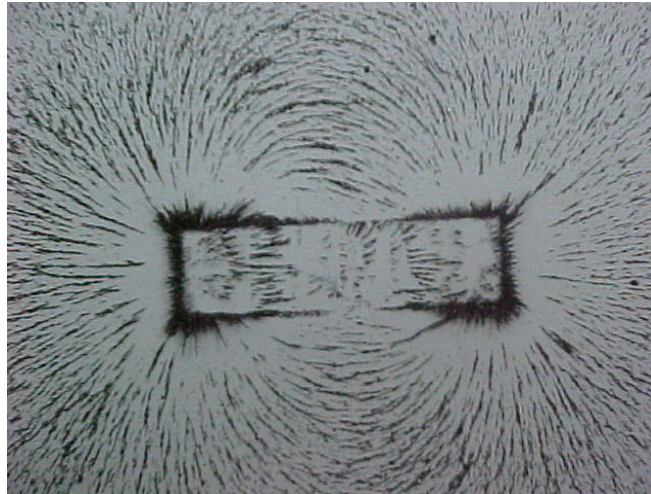


Figura 1: Líneas de Campo Magnético

1.3 Inducción Electromagnética

Ley de Ampere

Ampere fue el encargado de demostrar matemáticamente como un campo magnético genera una corriente eléctrica en un circuito. Su famosa ecuación, la Ley de Ampere, es la siguiente:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}}$$

Donde el primer término de la ecuación denota la cantidad de flujo magnético por una curva cerrada en el espacio, mientras que el segundo corresponde a la permeabilidad magnética del vacío (μ_0) multiplicado por la cantidad de corriente que pasa por una sección de área formada por la curva cerrada.

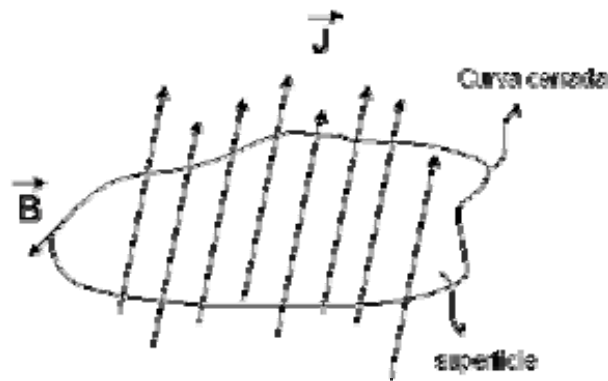


Figura 2: Enlazo de flujo magnético

La dirección con la que se mueve el campo magnético con respecto a la dirección de la corriente se rige por la famosa “Regla de la Mano Derecha”. Cabe destacar que la Ley de Ampere demuestra tanto que un campo magnético genera una corriente en un conductor eléctrico como que una corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor.

En el caso de una bobina, el campo magnético está dado por el número de vueltas del enrollado, siendo el campo magnético más fuerte mientras más vueltas tiene el enrollado.

Ley de Faraday

Luego, fue Faraday quien demostró matemáticamente que una densidad de flujo magnético variable $\Phi(t)$ induce una fuerza electromotriz dada por:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

La variación de Φ en el tiempo puede producirse por una corriente variable en el tiempo (efecto de transformador) o una por variación de la geometría del sistema (efecto

de generador). Este último caso, es el que interesa, por cuanto la entrada es energía mecánica (necesaria para modificar la geometría) y la salida es energía eléctrica.

Cabe destacar que cualquier de las leyes antes presentadas pueden ser obtenidas a partir de las ecuaciones de Maxwell.

Generador Sincrónico Simple

Considere que se tiene un imán permanente generando un campo magnético constante, el cual puede rotar en torno a su centro de gravedad. Cercano a él se posiciona una bobina de N vueltas como se ve en la figura.

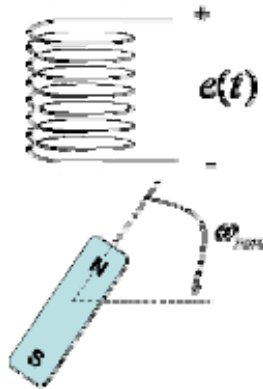


Figura 3: Generador Sincrónico Simple

Por Ley de Faraday la fuerza magnetomotriz $e(t)$, tendrá la forma:

$$e(t) = N \Phi_{\text{máx}} \cdot \omega_{\text{mec}} \cdot \sin(\omega_{\text{mec}} \cdot t)$$

Donde es importante destacar que la intensidad de este voltaje dependerá proporcionalmente del número de vueltas N , de la intensidad de flujo máxima $\Phi_{\text{máx}}$ y de la velocidad con que gire el imán ω_{mec} . Este voltaje (f.e.m.) creará una corriente en la bobina al conectar una carga a ella. Esta es la aplicación directa de un GENERADOR SINCRÓNICO MONOFÁSICO.

Estos Generadores se usan en la práctica en su modalidad Trifásica, es decir usando 3 bobinas en lugar de 1. Se caracterizan normalmente por el número de polos que tengan, que queda determinado por el número de imanes (cada uno tiene 2 polos). Su apellido "Sincrónico" se debe a que la frecuencia de la corriente generada por estas máquinas corresponde directamente a la velocidad de giro que tenga el rotor, donde se colocan los imanes y del número de polos de la máquina.

Este tipo de máquinas es la encargada de gran parte de la generación de energía en el país, usada en casi todas las Centrales Hidroeléctricas, Térmicas, etc. de Chile.

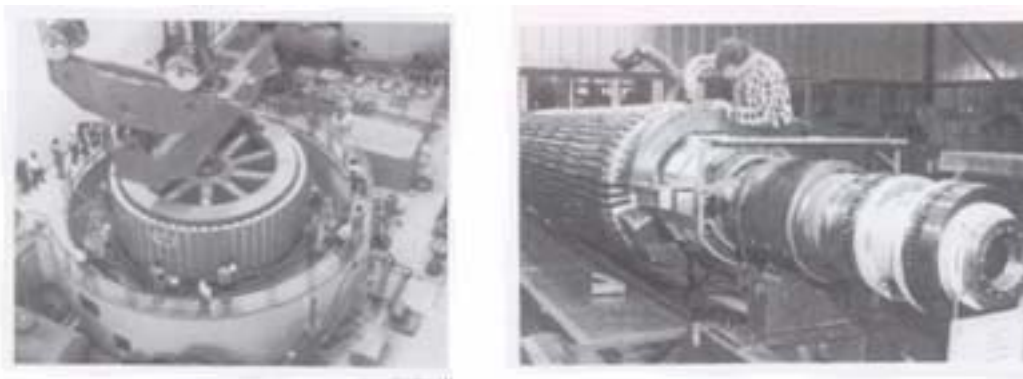


Figura 4: Generadores Sincrónicos Industriales

Máquinas de Inducción

Un estator con tres enrollados idénticos, ubicados físicamente a 120° y alimentados con voltaje trifásico equilibrado, origina un campo magnético rotatorio de magnitud constante el cual gira a una cierta velocidad (ω_s) constante.

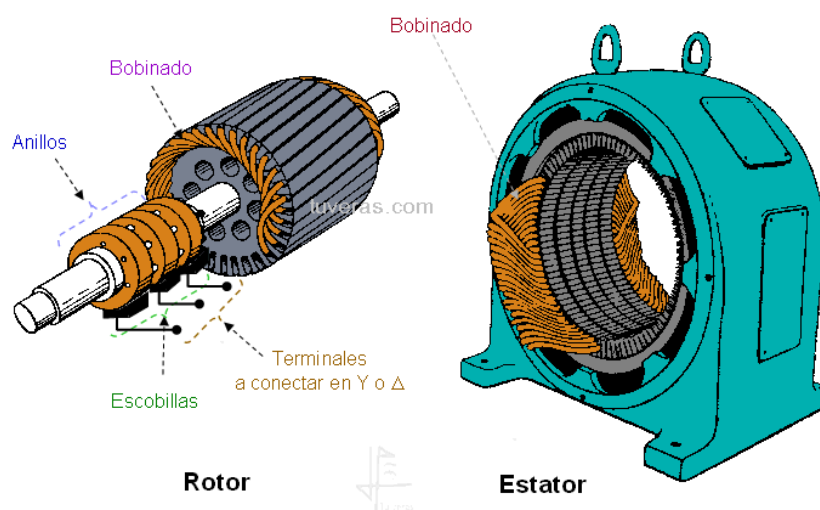


Figura 5: Máquinas de Inducción

Este tipo de máquinas funciona justo al revés de una máquina síncrona, si se hace girar a la velocidad de la red, esta máquina NO GENERA ELECTRICIDAD, sin embargo y al mismo tiempo, si el estator está alimentado y el rotor está detenido, entonces SI HAY ENERGÍA en la máquina. Esta característica se debe al antes nombrado Campo Magnético Rotatorio.

1.4 Almacenamiento de la Energía Eléctrica

Como se dijo antes, la gran mayoría de las empresas generadoras de energía tanto en Chile como en el mundo, usan Generadores Sincrónicos, mientras que cerca del 90% de las industrias nacionales usando Motores de Inducción. Esto implica directamente que el uso de la energía se hace de manera *alterna*, es decir, variando su valor de manera sinusoidal a una frecuencia de 50 Hz.



Figura 6: Generación Eléctrica

Así entonces, tanto el consumo como la generación de energía eléctrica se hace de manera alterna. Sin embargo, existen consumos que necesitan energía continua para ser alimentados, por lo que se necesita de generación de forma Continua. Pero al generar energía de forma continua es estrictamente necesario poseer Almacenadores de Energía. Para ello se hace uso de Baterías, por ejemplo de los autos a combustión, donde se almacena energía para ser usada cuando sea necesario.

Al mismo tiempo también existe generación de energía en forma continua como se ha visto en varias experiencias a lo largo del curso. Esta energía también debe ser almacenada para ser usada cuando sea necesario, directamente a los consumos de corriente continua, o usando el denominado **Inversor** que convierte la Energía de forma continua a alterna a una cierta frecuencia dependiendo del inversor.

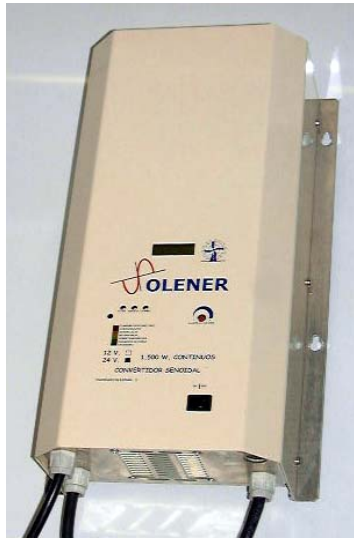


Figura 7: Inversor

De la misma manera, cuando se genera energía de forma alterna, es posible transformarla a energía continua usando **Rectificadores de Onda**.



Figura 8: Rectificadores