

Víctor F. Nasimba

# Introducción a las máquinas eléctricas



compAs

Grupo de capacitación e investigación pedagógica







## Introducción a las máquinas eléctricas

---

*Autor:*

**Víctor F. Nasimba**



## Introducción a las máquinas eléctricas

Autor.  
Víctor F. Nasimba



Primera edición: noviembre 2018

© Universidad Técnica Estatal de Quevedo 2018  
© Ediciones Grupo Compás 2018

ISBN: 978-9942-33-074-1

Diseño de portada y diagramación: Grupo  
Compás

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Guayaquil-Ecuador 2018

Cita.

Nasimba, V, (2018) Introducción a las máquinas eléctricas , Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 170 pag

## PREFACIO

Se pretende que la lectura de este libro sea una experiencia placentera, aun cuando el texto sea por necesidad científicamente riguroso y un tanto matemático. Yo como autor, trate de compartir la idea de que el estudio de máquinas eléctricas resulta entretenido. No solo es útil y del todo esencial para el estudio de la ingeniería eléctrica y mecánica, sino también una maravillosa capacitación para el pensamiento lógico a través de ejercicios aplicados en Matlab. Mirando retrospectivamente, luego de finalizar el curso, muchos estudiantes se sorprenden en verdad por todas las excelentes herramientas analíticas que se derivan solo de las ecuaciones de Maxwell que en esencia es el resumen del estudio de varios físicos de la época.

En muchas universidades públicas y privadas, el curso de máquinas eléctricas será precedido o estará acompañado por un introductorio de circuitos eléctricos y de electromagnetismo. Sin embargo los antecedentes, de este no es un prerrequisito, sino que varios de los conceptos básicos esenciales de electricidad y magnetismo se explican (o revisan), según se necesite.

Pretendo que este texto ayude a los estudiantes a auto prepararse así mismo en la ciencia del análisis de máquinas eléctricas. Está dirigido al estudiante, y no al profesor, pues el primero es quien tal vez dedique más tiempo a leerlo. Se hizo el máximo esfuerzo para que cada término nuevo se defina claramente cuando se presente por primera vez. El material básico aparece al inicio de cada capítulo y se explica con cuidado y en detalle; se emplean numerosos ejemplos para presentar y sugerir resultados generales. Aparecen problemas prácticos al final de cada capítulo, los cuales resultan por lo general simples. Los problemas más difíciles aparecen al final de cada capítulo y siguen el orden general de presentación del material del texto. Si en ocasiones el libro parece ser informal, o incluso ligero, se debe a que no es necesario ser hostigoso o cansado para ser educativo.

El capítulo 1 hace referencia a conceptos básicos sobre motor, generador, transformador, Ley de Faraday además se estudia el principio básico de funcionamiento de la maquina eléctrica, la



conexión básica de los bobinados finalmente se complementa con un cuestionario de preguntas, ejercicios aplicativos que son resueltos matemáticamente y comprobados aplicando la herramienta Matlab.

En el capítulo II, se estudia a la máquina de corriente continua, las partes internas y externas, conexión de sus bobinados, esto marca la pauta para la comprensión de una máquina eléctrica.

En el capítulo III, se profundiza en el análisis del motor de inducción o asíncrono, sus partes fundamentales, parámetros aproximados del circuito equivalente, pruebas a rotor bloqueado y sin carga.

En el capítulo IV se analiza a la máquina síncrona, su funcionamiento interno, circuito equivalente, pruebas de circuito abierto y corto circuito, máquina muy importante para el sector eléctrico.

En el capítulo V, se estudia al transformador ideal y real, pérdidas eléctricas, ejercicios aplicativos resueltos aplicando la herramienta Matlab, máquina estacionaria muy importante empleada en subestaciones, centrales eléctricas y en el sector industrial,

## Índice

|   |    |
|---|----|
| PREFACIO .....  | 3  |
| CAPÍTULO 1. ....  | 9  |
| INTRODUCCIÓN A LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS .....                    | 9  |
| Generalidades. ....   | 10 |
| Clasificación de las Máquinas Eléctricas.....                   | 10 |
| Aspecto magnético de las máquinas eléctricas. ....              | 10 |
| Conversión de la energía eléctrica a mecánica y viceversa. .... | 11 |
| Motor. ....   | 13 |
| Construcción general.....                                       | 13 |
| FEM inducida.....   | 13 |
| Dirección de la FEM inducida. ....                              | 14 |
| Regla de la mano derecha.....                                   | 14 |
| Ley de Faraday. ....  | 16 |
| Posibilidades de las maquinas. ....                             | 17 |
| Construcción de la maquina eléctrica.....                       | 17 |
| Rotor de la máquina. ....                                       | 18 |
| El eje del inducido. ....                                       | 18 |
| El núcleo del inducido.....                                     | 18 |
| El devanado del inducido. ....                                  | 19 |
| El colector. ....   | 19 |
| Estator de la máquina.....                                      | 19 |
| Devanado de excitación. ....                                    | 20 |
| Polo de excitación.....   | 20 |
| Polos auxiliares (inter-polos).....                             | 20 |
| Escobillas y porta escobillas. ....                             | 20 |
| Análisis entre campo magnético y campo eléctrico. ....          | 20 |
| Pérdidas y calentamiento en las máquinas eléctricas.....        | 21 |
| Simbología y descripción de las máquinas eléctricas.....        | 22 |
| La máquina eléctrica y bobinados. ....                          | 23 |
| Bobinado inductor.....  | 24 |



|   |           |
|---|-----------|
| Imanes permanentes (inductores). .....  | 24        |
| Clasificación de las máquinas eléctricas. ....  | 25        |
| Tipos de conexiones. ....   | 26        |
| Conexión excitación independiente. ....   | 26        |
| Conexión en serie. ....   | 26        |
| Conexión de excitación en paralelo, derivación o shunt. ....                          | 27        |
| Conexión excitación compound. ....  | 27        |
| Identificación de las maquinas eléctricas. ....                                       | 27        |
| Preguntas del capítulo 1 .....  | 29        |
| Problemas resueltos mediante Matlab del capítulo 1 .....                              | 35        |
| Problemas propuestos del capítulo 1 .....   | 39        |
| <b>CAPÍTULO 2. MAQUINA DE CORRIENTE CONTINUA</b> .....                                | <b>42</b> |
| Características. ....   | 43        |
| Ventajas. ....  | 43        |
| Desventajas. ....   | 43        |
| Circuito equivalente .....  | 43        |
| Generador de CC conexión en serie. ....   | 44        |
| Motor de CC con conexión en paralelo. ....  | 46        |
| Circuito equivalente .....  | 47        |
| Característica del par electromagnético de los motores de corriente<br>continua. .... | 49        |
| Motor serie (resumen) .....   | 49        |
| Motor paralelo (resumen). ....  | 49        |
| Motor Compound (resumen). ....  | 50        |
| Circuito equivalente. ....  | 50        |
| <b>PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 2</b> .....                                       | <b>51</b> |
| <b>EJERCICIOS DE MATLAB DEL CAPITULO 2</b> . ....                                     | <b>56</b> |
| <b>PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 2</b> . ....                                     | <b>60</b> |
| <b>CAPÍTULO 3. MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO (ASÍNCRONO)</b> .....                     | <b>63</b> |
| Características. ....   | 64        |
| Constitución. ....  | 64        |

|  |     |
|--|-----|
| El rotor devanado .....  | 64  |
| Característica.....  | 64  |
| Deslizamiento. ....  | 66  |
| Consideraciones .....  | 67  |
| Circuito equivalente para un motor de inducción .....                            | 68  |
| Parámetros aproximados de circuito equivalente a partir de datos de prueba. .... | 69  |
| Prueba sin carga (vacío). ....   | 70  |
| Prueba a rotor bloqueado. ....   | 70  |
| Diagrama de potencia.....  | 70  |
| PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 3.....  | 72  |
| EJERCICIOS DE MATLAB DEL CAPITULO 3. ....  | 73  |
| PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 3.....   | 79  |
| CAPITULO 4. MAQUINAS SÍNCRONAS .....   | 81  |
| Introducción. ....   | 82  |
| Rotor. ....  | 84  |
| Circuito equivalente de la maquina síncrona. ....                                | 85  |
| Determinación de la reactancia síncrona.....                                     | 87  |
| Prueba de circuito abierto. ....   | 87  |
| Prueba de corto circuito.....  | 88  |
| Reactancia síncrona saturada. ....   | 88  |
| Reactancia síncrona no saturada.....   | 89  |
| Bus infinito.....  | 89  |
| Conexión a una red trifásica.....  | 89  |
| Generador aislado. ....  | 90  |
| Potencia y par.....  | 90  |
| PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 4.....  | 92  |
| EJERCICIOS DE MAT LAB DEL CAPITULO 4. ....                                       | 97  |
| PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 4.....   | 98  |
| CAPÍTULO 5. TRANSFORMADORES.....   | 101 |
| Concepto. ....   | 102 |

|  |     |
|--|-----|
| Características .....  | 102 |
| Tipos de núcleo .....  | 102 |
| Transformador ideal.....   | 102 |
| Transformador Real.....  | 103 |
| Pérdidas en un transformador.....                                | 103 |
| PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR .....            | 104 |
| CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES .....                       | 104 |
| Transformador con núcleo de aire acoplado inductivamente. ....   | 105 |
| Coefficiente de acoplamiento (K). ....                           | 106 |
| Transformador con núcleo de hierro acoplado inductivamente. .... | 106 |
| PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 5.....                          | 111 |
| EJERCICIOS DE MATLAB DEL CAPITULO 5. ....                        | 119 |
| PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 5.....                         | 123 |
| SOLUCIONARIO .....   | 130 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 162 |
| GLOSARIO DE TERMINOS.....  | 163 |

**CAPÍTULO 1.**  
**INTRODUCCIÓN A LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS**

## Generalidades.

Las maquinas eléctricas han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la humanidad, desde sus inicios ha estado obligado de manera directa con el avance tecnológico de servicio y la mejora sustancial de la calidad de vida del hombre [1].

## Clasificación de las Máquinas Eléctricas.

Para el estudio de las maquinas eléctricas se las ha clasificado en dos grandes grupos: maquinas rotativas y maquinas estáticas, para tener mayor información, ver la figura 1.1.

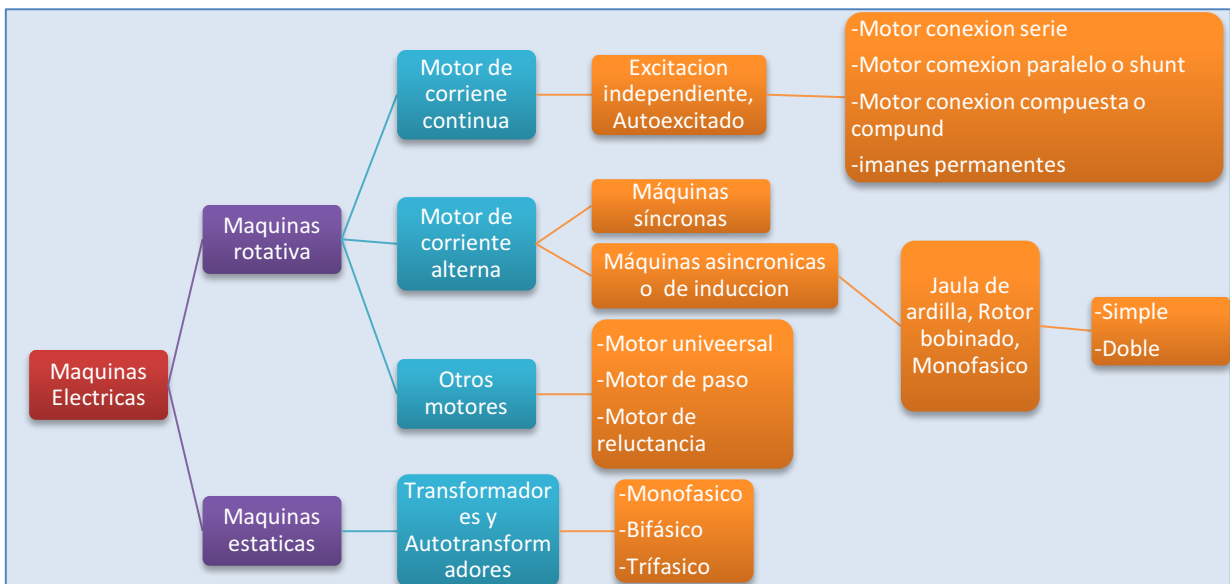


Figura 1.1. Clasificación de las maquinas eléctricas

## Aspecto magnético de las máquinas eléctricas.

Se puede decir que el planteamiento de los principios de conservación de la energía comienza con los descubrimientos de Ampere y Faraday que relaciona a la electricidad y magnetismo [2].

Ampere sentó las bases para la invención del motor eléctrico que convierte la energía eléctrica en mecánica y Faraday con su Ley que se basa en la Ley del electromagnetismo [2].

- **Motor:** el motor necesita energía eléctrica para generar movimiento



Figura 1.2. Motor eléctrico asíncrono.

- **Generador:** el generador necesita de movimiento para generar electricidad. En la figura 1.3 podemos ver que las palas del rotor necesitan de la fuerza del aire para realizar el movimiento giratorio [2].

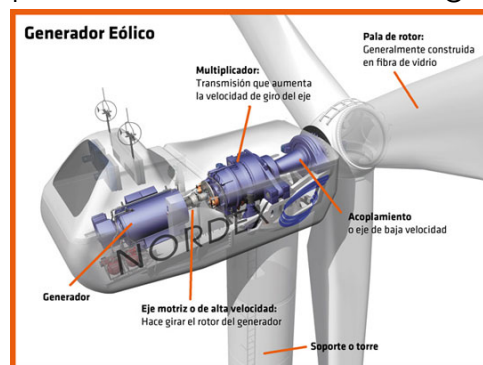


Figura 1.3. Generador eólico

### Conversión de la energía eléctrica a mecánica y viceversa.

La figura 1.4 describe que la energía mecánica puede ser convertida en energía eléctrica mediante los generadores y a su vez la energía eléctrica en energía mecánica mediante motores [1].

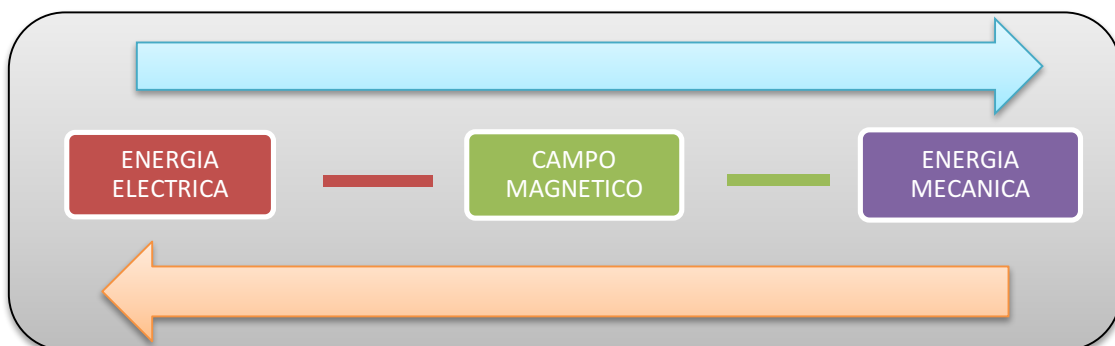




Figura 1.4. Conversión de energía eléctrica en mecánica y viceversa.

La energía mecánica de un salto de agua se convierte fácilmente en energía eléctrica mediante un alternador, la energía eléctrica es transformada por procedimientos electromagnéticos.

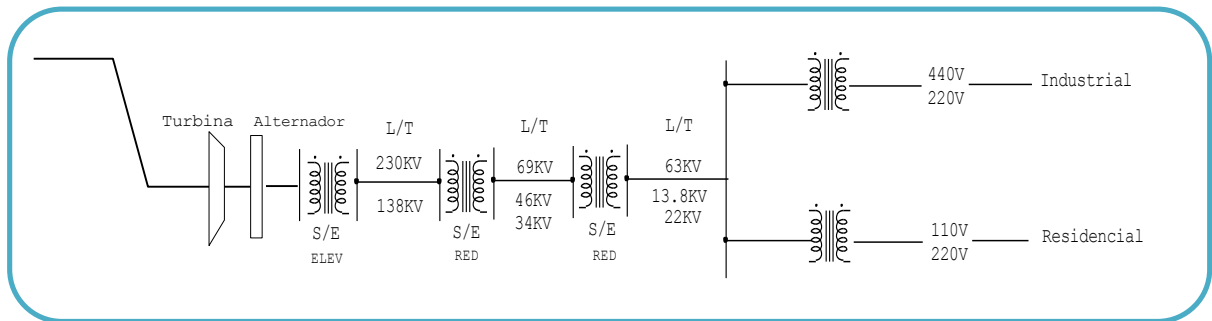


Figura 1.5. Niveles de tensión eléctrica desde la generación hasta el consumidor

La Figura 1.5 describe la energía que se crea en una central se prepara para llevarla a los centros de consumo y se la lleva por medio de las líneas de transmisión, es decir mediante las subestaciones eléctricas elevadoras se aumenta el voltaje para llegar a otra etapa que es una subestación eléctrica reductora y así aproximarse a los centros de consumos por medio de una línea de distribución que es destinada al sector industrial, residencial y rural. En estos lugares la energía eléctrica puede ser convertida en mecánica; por medio de hornos en energía calorífica, en energía luminosa mediante lámparas y energía química por medio de baterías.

- **Transformadores:** transforma una carga eléctrica de entrada (CA) considerando magnitudes de tensión y de corriente en otra energía eléctrica de salida con magnitudes diferentes [2].
  - Los generadores y motores tienen una acción mecánica por ello son máquinas dotadas de movimientos que normalmente son de rotación [2].
  - Los transformadores son máquinas eléctricas que tienen únicamente acceso eléctrico por ello son máquinas estáticas, ver Figura 1.6 [2].
  - Cada máquina en particular cumple el principio de reciprocidad electromagnética, pudiendo funcionar como generador o como motor [2].

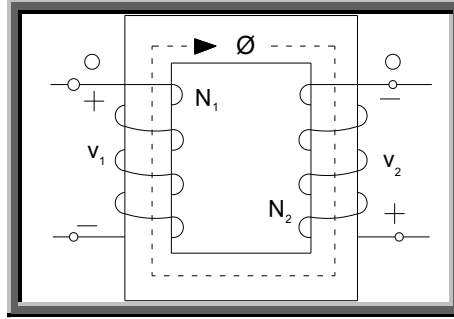


Figura 1.6. Principio del transformador

### Motor.

El motor transforma la energía eléctrica en mecánica, por medio de la corriente eléctrica se produce el movimiento. La acción se desarrolla introduciendo una corriente en la máquina de una fuente externa que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la máquina aparece entonces una fuerza electromotriz inducida (FEM.) que se opone a la corriente y que se le denomina fuerza contra-electromotriz (FCM ) [1].

### Construcción general.

El estator y rotor se constituyen de un material ferromagnético, en el inducido se realiza con chapas magnéticas de acero al silicio para evitar pérdidas con el hierro.

El espacio de aire entre el rotor y estator se denomina *entrehierro* [1].

### FEM inducida.

- Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.
- Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético es originalmente fijo y el inducido es el que gira. Ver Figura 1.7.

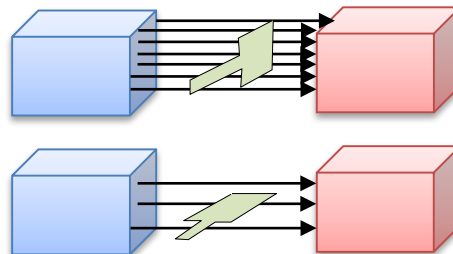


Figura 1.7. Principio del generador eléctrico

$$E=N (\Phi/t) (10^{-8}[V]) \quad (1.1)$$

$$W_{med}=4NS\Phi 10^{-8}[V] \quad (1.2)$$

$$E_{med}=4NS\Phi V \quad (1.3)$$

**Donde:**

**N= número de espira**

**$\Phi$ = flujo magnético**

**S= revoluciones de la espira**

$$\Phi = B \cdot A \quad (1.4)$$

$$\Phi=B \cdot (b \cdot h) \quad (1.5)$$

$$\Phi = \text{weber} = 10^{18} \text{ Maxwell} \quad (1.6)$$

### **Dirección de la FEM inducida.**

- Par analizar la FEM inducida se considera la regla de la mano derecha o la ley de Fleming.
- La regla de Fleming se supone que el campo es fijo y que el conductor se mueve respecto al campo fijo. [1]

Existe una relación definida entre la dirección del flujo, dirección del movimiento del conductor y la dirección de la FEM inducida. [1]

### **Regla de la mano derecha.**

Existe una regla elemental para la relación entre el flujo del movimiento de un motor y de la FEM (fuerza electromotriz) inducida para las cuales se usa el pulgar, índice y el medio. [1]

La Figura 1.8 indica como el dedo índice señala la dirección de las líneas de flujo del campo magnético, el dedo pulgar nos indica la dirección del movimiento del conductor la forma para producir el movimiento (F) y el dedo medio que nos indica la dirección de la f.e.m. , para mayor comprensión imaginarse como si fuera un tirabuzón, simbólicamente se puede expresar con

este símbolo⊗(el punto se dirige hacia dentro del plano) y ⊙ (el punto se dirige hacia afuera del plano) [1]

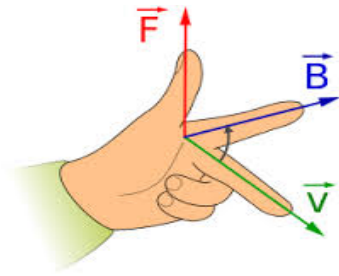


Figura 1.8. Ley de la FEM

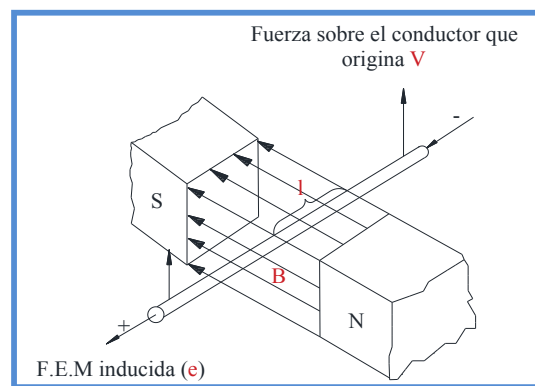


Figura 1.9. FEM inducida.

Según la Figura 1.9 se obtiene la siguiente formula:

$$e = B * l * V * 10^{-8} [V] \quad (1.7)$$

**Unidades C.G.S**

**B =Densidad de flujo (gauss) (líneas/cm<sup>2</sup>)**

**e = F.E.M. inducida**

**l = longitud ( cm )(pulg)**

**V = velocidad (cm/seg)**

**Unidades inglesas**

**B = líneas/pulg<sup>2</sup>**

**l = pulg**

**V = pulg/ min**

## Ley de Faraday.

Esta ley indica, “El valor de la tensión inducida en una sola espira de hilo es proporcional a la velocidad de variación de las líneas de FEM inducida, será directamente proporcional a la velocidad de variación de flujo concatenado” [1].

Es así como aparece el Sr NEWMAN (1845) y expresa en forma cuantitativa la Ley de Faraday [1].

$$E_{med} = \frac{\phi}{t} \text{ abvolt} \tag{1.8}$$

$$E_{med} = \frac{\phi}{t} * 10^{-8} [\text{V}] \tag{1.9}$$

**Donde:**

$E_{med}$  : Tensión media generada en una sola espira.

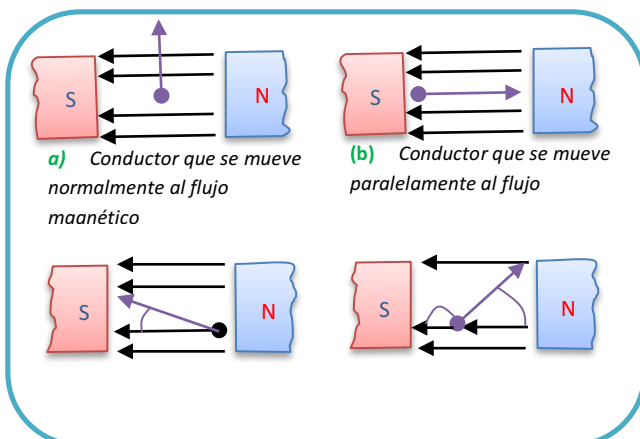
$\phi$  : Número de Maxwell o línea de flujo magnética concatenada

$t$  : Tiempo en s en que concatena las líneas de flujo

$10^{-8}$  : Es el número de líneas que una sola espira debe concatenar cada segundo a fin de producir una tensión de 1 volt.

Si la densidad de flujo (B) como la velocidad relativa será del conductor o del campo uniforme constante, los valores instantáneos y medios de la FEM inducida serán iguales, [en unidades inglesas] [1].

$$E_{ins} = \frac{1}{5} B * l * V * 10^{-8} [\text{V}] \tag{1.10}$$



$$E_{med} = \frac{\phi}{t} * 10^{-8} [\text{V}]$$

$$E_{ins} = \frac{1}{5} B * l * V * 10^{-8} [\text{V}]$$

$$E_{ins} = \frac{1}{5} B * l * V * \sin \theta * 10^{-8} [\text{V}]$$

$$E_{ins} = B * l * V * \sin \theta * 10^{-8} [\text{V}]$$

La Figura 1.10 describe la tensión inducida generada que puede incrementarse aumentando la intensidad del campo magnético (número de líneas de flujo en movimiento relativo respecto al conductor) o aumentando la velocidad o el movimiento relativo del conductor y el campo magnético.

### **Posibilidades de las maquinas.**

Los diversos tipos de posibilidades de las máquinas que se describen son:

1. Las máquinas de corriente continua o (C.C) que tiene un inducido móvil y un inductor fijo.
2. Las maquinas síncronas (C,A) con un inducido móvil y un inductor fijo.
3. Las maquinas síncronas (C.A) con un inductor móvil y un inducido fijo.
4. la maquina asíncrona (C.A) en el que el devanado del inducido son tanto fijos como móviles.

### **Construcción de la maquina eléctrica.**

Las maquinas eléctricas están construidas por dos partes principales: [1]

- Rotor de la máquina.
- Estator de la máquina.



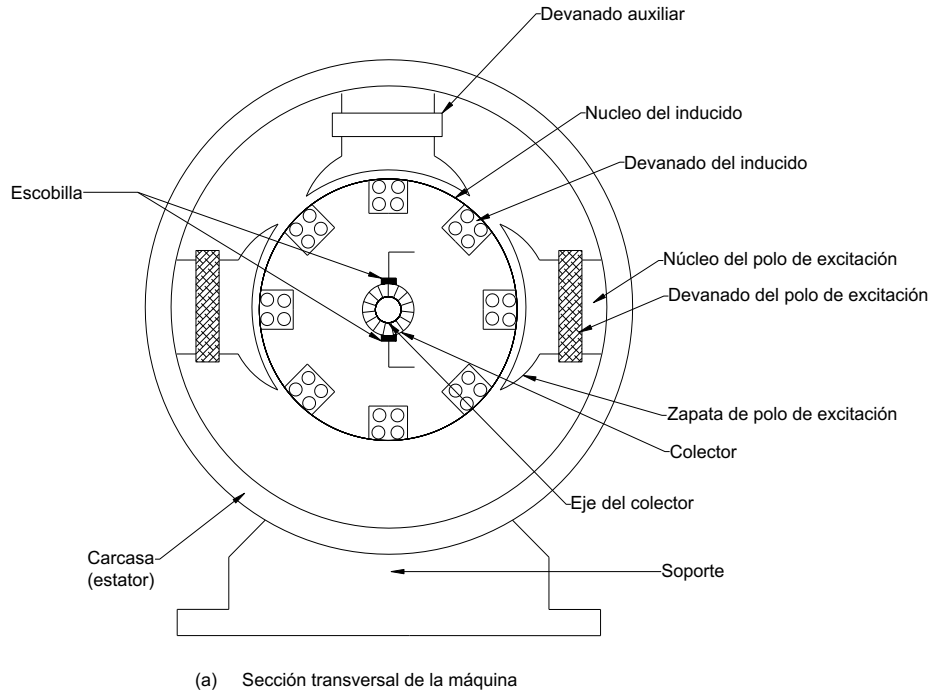


Figura 1.11. En la figura puede verse el corte o la sección de una máquina eléctrica cuya característica más importante son: Rotor y Estator o Carcasa.

## Rotor de la máquina.

El rotor de la máquina eléctrica está constituido por los siguientes elementos: eje del inducido, núcleo del inducido, devanado del inducido y colector.

### El eje del inducido.

La Figura 1.11 muestra el núcleo del inducido, devanado y colector que están unidos mecánicamente y su función es la de realizar el giro de rotación.

### El núcleo del inducido.

El núcleo del inducido está construido a base de chapas laminadas de acero, que proporciona un campo magnético de baja reluctancia entre los polos [1].

Las chapas sirven para inducir las corrientes parasitas en el núcleo y el acero para las maquinas eléctricas es de tal calidad que determina perdidas por histéresis, el núcleo contiene ranuras axiales periféricas [1].

### **El devanado del inducido.**

El devanado del inducido consiste en bobinas aisladas entre si y del núcleo del inducido embebidas en la ranuras y conectados eléctricamente en los puntos. [1]

### **El colector.**

Debido a la rotación del eje, el colector proporciona las maniobras necesarias para el proceso de comprobación, consiste en segmentos de cobre aislados individualmente entre si y del eje conectado eléctricamente a las bobinas del inductor [1].

- El inductor del rotor de las máquinas de corriente continua realiza cuatro funciones principales que son:
  - Permite la rotación que es necesario para obtener el efecto de generador o de motor
  - Por la rotación se produce las maniobras necesarias para la conmutación.
  - Contiene los conductores en las que se induce una tensión que proporciona un par fuerza electromagnético
  - Proporciona un camino de baja reluctancia para el flujo magnético.

### **Estator de la máquina.**

La figura 1.11 nos muestra el corte frontal de una máquina de corriente continua el mismo que consta de:

- Carcasa o yugo es una carcasa cilíndrica de acero fundido laminado
- Este yugo no sirve solo de soporte sino que también proporciona un camino de retorno para el flujo en el circuito.

### **Devanado de excitación.**

Que consta de pocas espiras de hilos en caso de excitación en serie, muchas espiras de hilo de poca sección en el caso de un motor con conexión paralelo o shunt [1].

Esencialmente las máquinas de excitación con electroimanes cuyo amplitud forma una fuerza magneto motriz (FMM.) para producir en el entre hierro el flujo que precisa para generar una fuerza electromotriz (FEM [1]).

### **Polo de excitación.**

Constituido por chapas de acero y unidas mediante pernos soldados a la carcasa. la zapata del polo es curva y es más ancho que el núcleo del polo fijo , distribuye el flujo en forma más uniforme [1].

### **Polos auxiliares (inter-polos).**

Están situados en la región interpolar entre los polos principales y en general son de tamaño inferior. [1]

### **Escobillas y porta escobillas.**

Forman parte del circuito del inducido, está formado por carbono y grafito sujeto a la estructura del colector y mediante tal los muelles se asegura que la escobillas se mantengan en posición fija con las delgas del colector [1].

### **Análisis entre campo magnético y campo eléctrico.**

Es muy importante analizar los principios básicos de los circuitos eléctricos y magnéticos, en los cuales se relaciona la intensidad eléctrica con el flujo magnético, la resistencia eléctrica con la reluctancia; el voltaje con la fuerza magneto motriz (F.M.M), la conductancia con la permeabilidad y la conductividad con la permeancia, ver la tabla 1.1.

| Circuito eléctrico        |   | Circuito magnético          |
|---------------------------|---|-----------------------------|
| Ley de Ohm $I=V/R$        | → | $\Phi = F/\mathbb{R}$       |
| Resistencia $=\rho*(L/A)$ | → | $\mathbb{R} = (\mu A)^{-1}$ |
| Intensidad (I)            | → | $\Phi$ (flujo)              |

|  |   |                            |
|--|---|----------------------------|
| <b>Voltaje (V)</b>                       | → | FMM (fuerza magnetomotriz) |
| <b>Conductancia (G)</b>                  | → | $\mu$ (permeabilidad)      |
| <b>Conductividad (<math>\rho</math>)</b> | → | $\mathbb{P}$ (permeancia)  |

Tabla 1.1. Análisis de un circuito eléctrico y un circuito magnético

## Pérdidas y calentamiento en las máquinas eléctricas

- En la máquinas eléctricas y de acuerdo a la transformación electromecánica de la energía una fracción de la potencia transformada se convierte en calor prácticamente no se utiliza, constituyéndose en las famosas perdidas de las máquinas [3].
- Las máquinas eléctricas tienen circuito eléctrico y circuito magnético [3].
- Y es aquí donde se produce las perdidas por el efecto joule llamadas perdidas en el cobre

$$P_{cu} = \Sigma R_i I_i^2 \quad (1.11)$$

- Los arrollamientos se colocan en una estructura magnética “chapas de acero al silicio” y que debido a los campos magnéticos variable se producen perdidas llamadas perdidas en el hierro [3].

$$P_{Fe} = P_h + (P_F \text{ o } P_p) \quad (1.12)$$

- Y también aparecen perdidas mecánicas debido a los rozamientos o fricción de cada una de las partes del sistema [3].
- **Fricción en las escobillas:** rozamiento de los retenedores o cojinetes, ventilación (rozamiento en el aire) [3].

$$P_M = (P_{rozamiento} * n) + (P_{ventilación} * n^3) \quad (1.13)$$

$n$ = velocidad en rpm



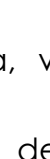











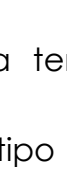








La elevación de la temperatura afecta a las bobinas, aislantes que se carbonizan produciéndose corriente continua entre sus espiras y defectos a tierra en función de esto se fija normas internacionales de aislamiento que son [3].

- **Clase A:** Es un aislamiento con materiales fibrosos la temperatura máxima de 105°
- **Clase E:** Es un aislamiento con materiales con fibras sintéticas la temperatura máxima de 120°
- **Clase D:** Materiales con aislamiento polista la temperatura máxima de 130°

- **Clase F:** Materiales con fibra de mica y amianto la temperatura máxima de 155°
- **Clase H:** Materiales con mica, fibra de vidrio la temperatura máxima de 180°
- **Clase 200:** Materiales con mica, vidrios cerámicos la temperatura máxima de 200°
- **Clases 220:** Materiales con mica de vidrios polimidas tipo Kapton la temperatura máxima de 220°
- **Clases 250:** materiales con micas, vidrios, cerámicos, polimidas tipo Kapton temperatura máxima 250°
- **Índice de protección (IP):** sirve para considerar factores internos (pozos petroleros, goteo (externo/ internos, lluvia y sol)).

## Simbología y descripción de las máquinas eléctricas.

### Motores y generadores.

| SIMBOLOGÍA  | DESCRIPCIÓN                                   | SIMBOLOGÍA   | DESCRIPCIÓN                                       | SIMBOLOGIA  | DESCRIPCIÓN                                |
|---|---|--|---|---|--|
|   | Motor general                                 |     | Transformador de dos enrollamiento                |    | Diodo Zener unidireccional y bidireccional |
|    | Generador general                             |    | Transformador de tres enrollamiento               |    | Fotoelemento o fotocélula                  |
|    | Motor de corriente continua                   |     | Autotransformador                                 |    | Acumulador, pila o batería                 |
|  | Generador de corriente continua               |   | Transformador de corriente                        |  | Termocupla                                 |
|  | Motor monofásico de C.A.                      |  | Transformador de derivación (taps) en el primario |  | Bocina o pito                              |
|  | Motor de inducción 3ø C.A.                    |   | Resistencia                                       |  | Timbre                                     |
|  | Motor de inducción 3ø C.A. con conexión delta |   | Resistencia con derivación (Taps)                 |  | Sirena                                     |
|  | Motor de inducción con indicación a           |   | Inductor o bobina                                 |  | Chatarra o zumbido                         |




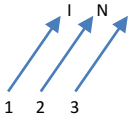
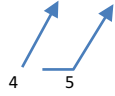



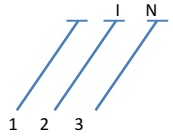





|   |   |   |   |   |                                  |
|---|---|---|---|---|----------------------------------|
|   | todas las terminales  |   |   |   |                                  |
|    | Generador síncrono con conexión estrella                                    |    | Semiconductor (diodo)   |    | Luz piloto                       |
|    | Servicio variable agente externo<br>1) General<br>2) Continuo<br>3) De paso |    | Magnitud física variable<br>4) Variable lineal<br>5) Variable no lineal |    | Tierra                           |
|    | Masa  | +   | Polaridad positiva  | -   | Polaridad negativa               |
|    | Tensión peligrosa   |    | Servicio variable determinado<br>1) general<br>2) Continuo<br>3) A paso |    | Conexión triángulo delta         |
|   | Conexión estrella o Y   |  | Conexión en zic -zac  |  | Conexión estrella o Y con neutro |
|  | Conexión en V o delta abierto   |   |   |   |                                  |

Tabla 1.2. simbología y descripción de las máquinas eléctricas.

## La máquina eléctrica y bobinados.

Para tener una idea general de las máquinas eléctricas, se debe estudiar las conexiones de sus bobinados y las partes internas que están constituidas, para lo cual debemos tomar como referencia a la máquina de CC.

- Las máquinas de CC. tienen la particularidad de ser reversibles en su función por lo tanto esta característica es idéntica para su funcionamiento como generador y motor.
- Cuando funciona como generador se llama dinamo y cuando funciona como receptor se llama motor.



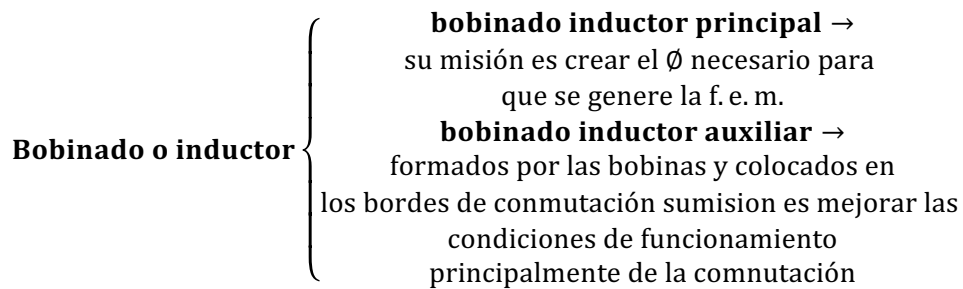
- Las máquinas de corriente continua consta de 2 circuitos eléctricos y 1 magnético.

### **Bobinado inductor.**

El sistema inductor que produce el campo magnético necesario para crear corrientes inducidas, puede ser producido por imanes permanentes o electroimanes.

### **Imanes permanentes (inductores).**

Son de acero templado entre sus polos está colocado en el inductor. Los inductores están constituidos por electroimanes su núcleo es de hierro. En el bobinado de los inductores circula la corriente excitación.



### 1.4.1. Grafico del bobinado de campo y armadura

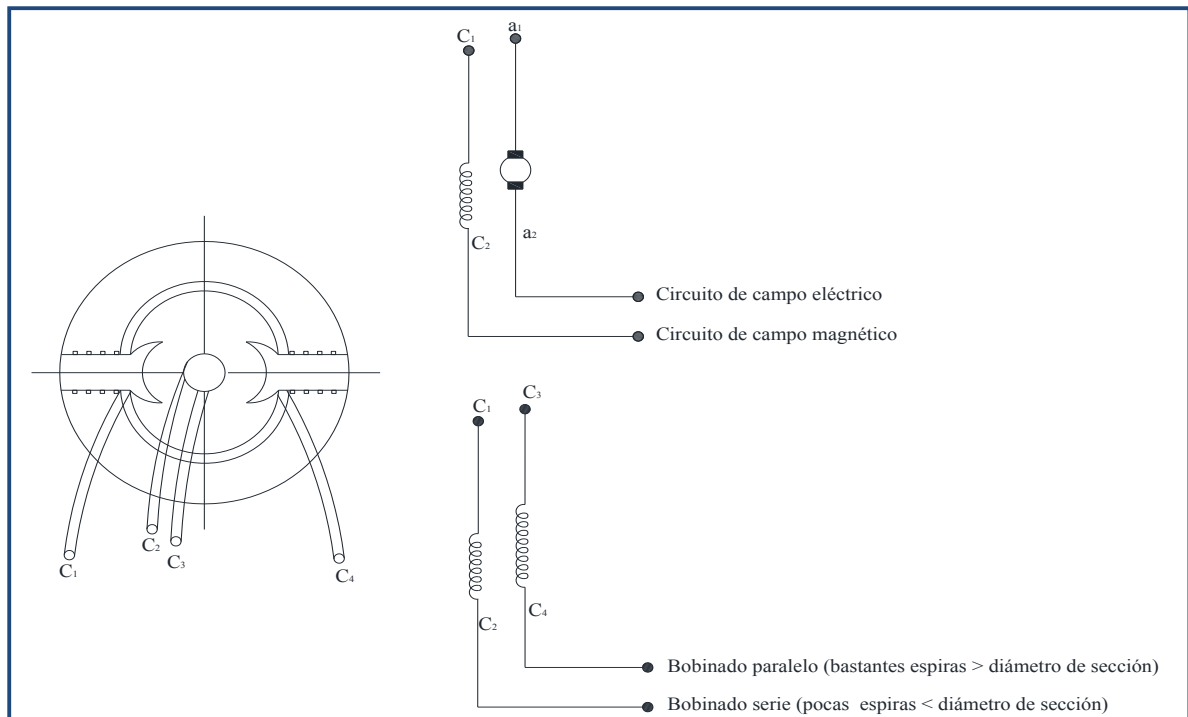


Figura 1.9. Bobinado de campo y armadura.

### Clasificación de las máquinas eléctricas.

Las máquinas eléctricas de corriente continua pueden clasificarse a base de las interconexiones entre los devanados de campo y de armaduras (inducido).

- Máquina de excitación independiente.
- Máquina de excitación en serie.
- Máquina de derivación, paralelo o shunt (derivación larga y corta).
- Máquina eléctrica compound (aditiva y diferencial).

## Tipos de conexiones.

### Conexión excitación independiente.

En este tipo de conexión, las bobinas inductoras son recorridas por la corriente suministrada por una fuente de alimentación exterior de la máquina, la corriente de excitación puede ser regulada por la propia fuente.

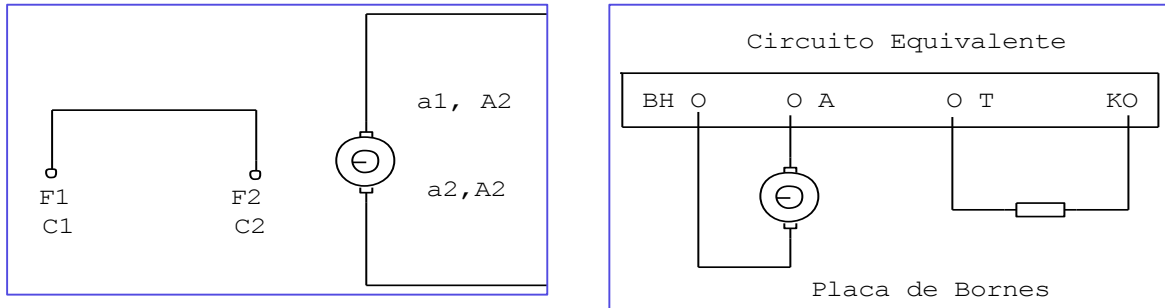


Figura 1.10. Circuito excitación independiente (izquierda) y placa de bornes (derecha).

### Conexión en serie.

En la conexión serie los bobinados inductores son recorridos por la misma corriente generada por el inducido y absorbida por la carga por lo tanto serán de pocas espiras y una sección grande para provocar la menor caída de tensión posible.

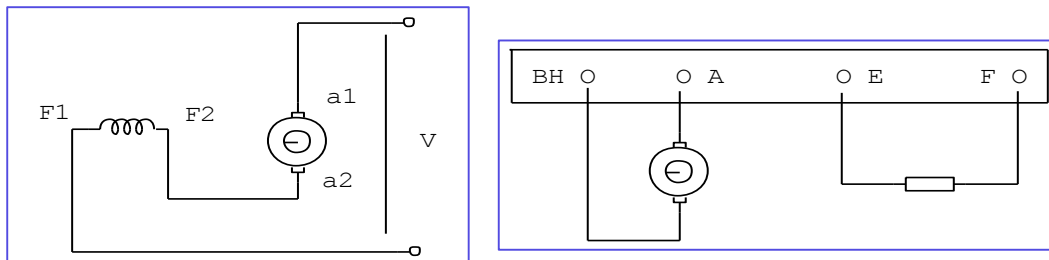


Figura 1.11. Circuito conexión serie (izquierda) y placa de bornes (derecha).

## Conexión de excitación en paralelo, derivación o shunt.

Esta conexión el circuito inductor está conectado en derivación con el circuito inducido y con la carga disminuyéndose entre ellos la intensidad total.

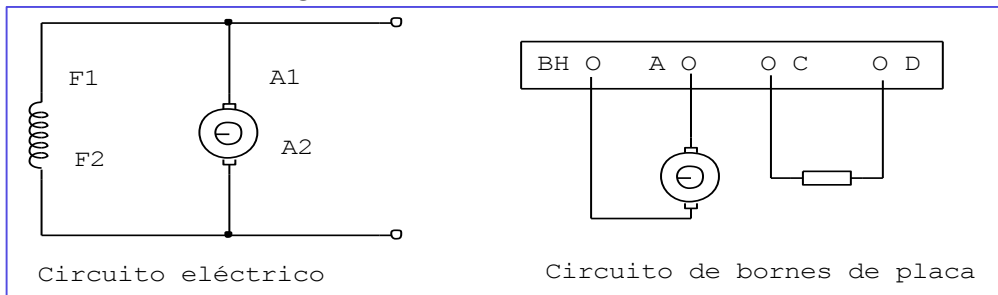


Figura 1.12. Circuito conexión paralelo (izquierda) y placa de bornes (derecha)

## Conexión excitación compound.

Resulta de la conexión en serie y paralelo.

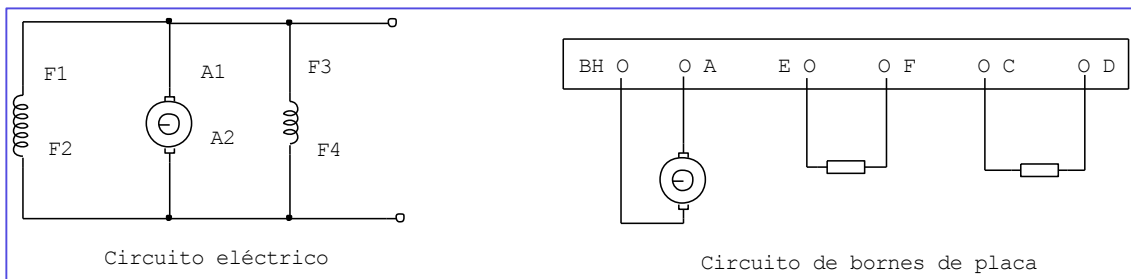


Figura 1.13. Circuito conexión compuesta (izquierda) y placa de bornes (derecha).

## Identificación de las máquinas eléctricas.

Toda máquina eléctrica tiene una placa de características y también elementos de fijación (tornillos normalizados) para realizar conexiones con diferentes tipos de máquinas eléctricas, estrella/ delta o viceversa ver Figura 1.14.

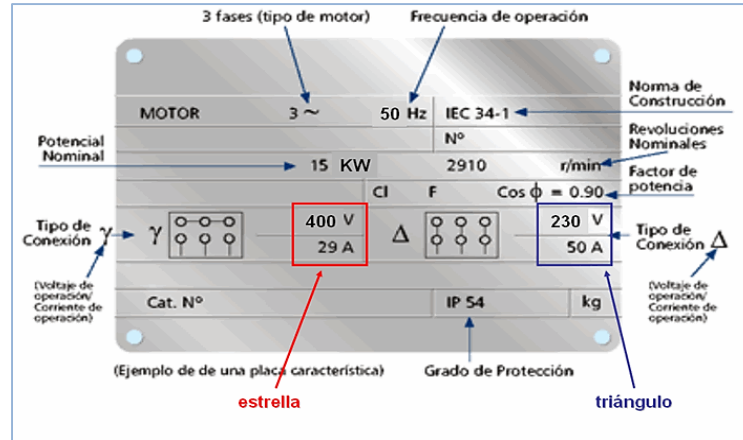


Figura 1.14. Placa de un motor Trifásico.

La mayoría de las máquinas eléctricas tienen las siguientes características, ver la tabla 1.3

| Ítem | Placa de característica del motor | Ítem | Placa de característica del motor |
|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|
| 01   | Nombre del fabricante             | 10   | Unidad de potencia                |
| 02   | Clase de maquina                  | 11   | Factor de potencia                |
| 03   | Clase de corriente                | 12   | Velocidad nominal                 |
| 04   | Numero de fabricación             | 13   | Frecuencia nominal                |
| 05   | Tipo de conexión                  | 14   | Clase de aislamiento              |
| 06   | Tensión nominal                   | 15   | Clase de protección               |
| 07   | Intensidad nominal                | 16   | Peso                              |
| 09   | Potencia nominal                  | 17   | Número y año de fabricación       |

Tabla 1.3. Características de la placa de un motor.

## Preguntas del capítulo 1.

### 1.1. Establecer la ley de Faraday de la inducción electromagnética.

#### a. Con sus propias palabras.

La fuerza electromotriz inducida en una espira es proporcional a las variaciones de flujo magnético en el tiempo, y a su vez es proporcional a la rapidez con que se cambia el flujo en una espira.

#### b. En forma de ecuación, identificando todos los factores de la misma.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

### 1.2. Proponer una ecuación que pueda utilizarse para calcular el valor instantáneo de la FEM inducida cuando se conoce una densidad de flujo constante. Establecer todos los factores de la ecuación, incluyendo las unidades, expresados en el sistema CGS.

*Ecuación:*

$$e = Blv10^{-8}[V]$$

Dónde:

$B$  = Es la densidad de flujo en gauss (líneas/cm<sup>2</sup>) o en líneas/pulg<sup>2</sup>.

$l$  = La longitud de la parte activa del conductor que concatena el flujo en cm o en pulgadas.

$v$  = La velocidad relativa entre el conductor y el campo en cm/s o pulg/s.

### 1.3.

**a. Repita la cuestión 1.4 proponiendo la ecuación de unidades inglesas.**

**b. Repita en el sistema R.M.K.S.**

**a.**  $e = \frac{1}{5}Blv * 10^{-8}$

Donde:

$B$  =Es la densidad de flujo en gauss.  $\left(\frac{\text{lineas}}{\text{pulg.}^2}\right)$

$l$  =Es la longitud del conductor que concatena el flujo. (Pulgadas)



$v$  = Es la velocidad relativa entre el conductor y el campo.  $\left(\frac{\text{pies}}{\text{minutos}}\right)$

$10^{-8}$  = es el número de líneas que un solo conductor debe concatenar cada segundo a fin de inducir una tensión de un voltio.

$$b. E_{med} = \frac{\Phi}{t} * 10^{-8}$$

Donde:

$E_{med}$  = Es la tensión media generada en un asola espira (voltio/espira)

$\emptyset$  = Es el número de maxwells o líneas de fuerzas magnéticas concatenada con una espina durante.

$t$  = El tiempo en segundo en que son ((concatenadas))  $\emptyset$  líneas.

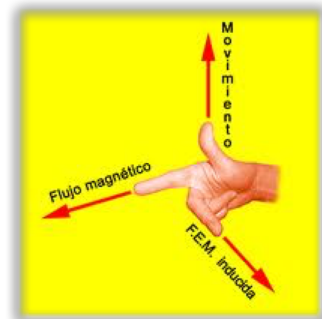
$10^{-8}$  = Es el número de líneas que una sola espira debe concatenar cada segundo con el fin de inducir una tensión de 1 voltio.

#### 1.4.

##### a) Trazar un esquema que ilustre la regla de Fleming.

Regla de la mano derecha.

- *Dedo índice:* representa el sentido del campo magnético.
- *Dedo pulgar:* Representa el movimiento del conductor.
- *Dedo medio:* Representa la F.E.M inducida.



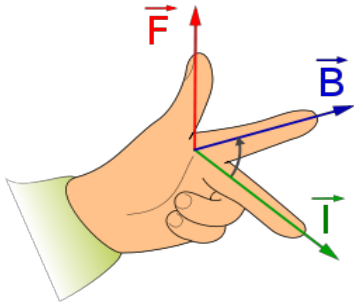
##### b) ¿Qué indica la regla de Fleming?

La **regla de Fleming** (mano derecha) presupone que el campo es fijo y que el conductor se mueve con respecto al campo fijo (de referencia). Puesto que la tensión inducida depende del movimiento relativo entre el conductor y el campo, puede aplicarse en el caso de un conductor fijo y un campo móvil, pero suponiendo que le conductor se mueve en sentido opuesto.

##### c) ¿Qué entiende por corriente convencional contraponiéndola con corriente electrónica?

La corriente convencional se llama así porque al principio se creía que se movía desde el polo positivo al negativo, siendo en sentido contrario la corriente real ((electrónica))

- d) Trazar un esquema que muestre la regla de Fleming si se utiliza para determinar el sentido del flujo de electrones producido por inducción electromagnética.**



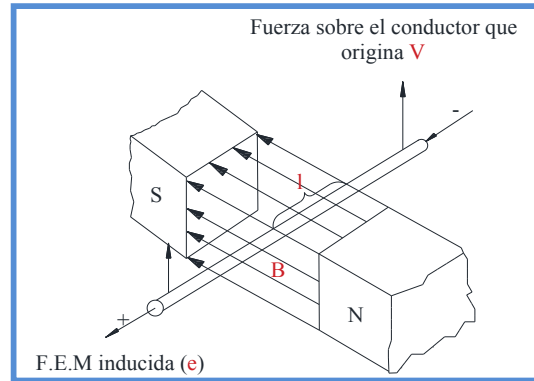
Regla de la mano izquierda.

- *Dedo índice:* indica las líneas de flujo;
- *Dedo pulgar:* indica el movimiento del conductor;
- *Dedo medio:* indica se entra y sale la corriente.

**1.5.**

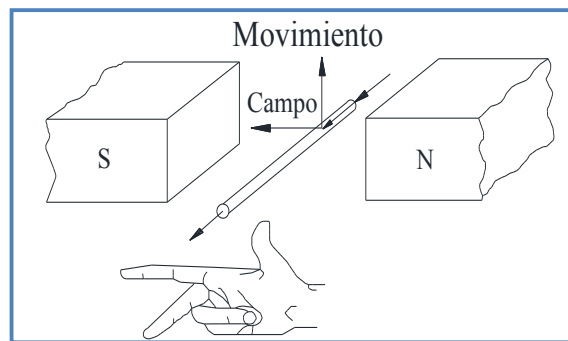
- Enunciar la ley de Lenz.**
  - Demostrar que tanto la ley de Lenz como la ley de Newton del movimiento están relacionadas con el principio de Le Chatelier.**
  - Trazar un esquema que indique que la dirección de la FEM inducida en un conductor que se mueve en un campo magnético produce una corriente que a su vez produce un flujo que se opone al movimiento.**
  - Describe la regla de Fleming a partir del esquema trazado en el inciso c.**
- 
- En todos los casos de inducción electromagnética, la tensión inducida tiende a hacer circular en un circuito cerrado una corriente en un sentido tal que su flujo magnético se oponga a la variación que la ha generado.
  - Tanto como el principio de Le Chatelier como la tercera ley de movimiento de Newton a cada acción se le opone una reacción; en la de Lenz el efecto electrodinámico de una corriente inducida se opone igualmente a la acción mecánica que la induce.

c.



d.

- El dedo índice indica el sentido del campo de (norte a sur).
- El dedo del medio indica el sentido de circulación de la corriente o (FEM.).
- El dedo pulgar indica sentido de la fuerza desarrollada sobre el conductor o del movimiento resultante.



## Problemas resueltos del capítulo 1.

1.1. Se dispone de un flujo de  $6.5 \cdot 10^6$  líneas concatenada una bobina de 1 espira. El flujo se anula en 0.125 s, la bobina cerrada tiene una resistencia de  $0.05 \Omega$  calcular.

- El valor medio de la FEM generada en una espira
- La corriente media que circula en r la espira

$$E_{\text{med}} = \frac{6.5 \cdot 10^6 \text{ líneas}}{0.125 \text{ s}} * 10^{-8} [\text{V}]$$

$$E_{\text{med}} = 0.52 \text{ V } \text{ R//}$$

$$I = \frac{V}{R} = 10.4 \text{ [A] } \text{ R//}$$

1.2. El hilo conductor de 1m de longitud se mueve en forma perpendicular a un campo magnético de 25000 gauss (Maxwell/cm<sup>2</sup>) con una velocidad de 25m/s. Calcular.

- La fuerza electromotriz (FEM) instantánea inducida en el conductor
- La fuerza electromotriz (FEM) media inducida en el conductor
- Si el conductor está a 60° hallar F.E.M instantánea.

$$E_{\text{int}} = (25000 \text{ gauss}) (100 \text{ cm}) (2500 \text{ cm/s}) (10^{-8} [\text{V}])$$

$$E_{\text{int}} = 62.5 \text{ [V] } \text{ R//}$$

$$\emptyset = B * A$$

$$\emptyset = 25000 (100 * 2500)$$

$$\emptyset = 6.25 * 10^9$$

$$E_{\text{med}} = \frac{\emptyset}{t} * 10^{-8} [\text{V}]$$

$$E_{\text{med}} = (6.25 * 10^9) (10^{-8})$$

$$E_{\text{med}} = 62.5 \text{ [V] } \text{ R//}$$

$$E_{\text{int}} = (25000 \text{ gauss}) (100 \text{ cm}) (2500 \text{ cm/s}) (\sin 60^\circ) (10^{-8} [\text{V}])$$

$$E_{\text{int}} = 54.13 \text{ [V] } \text{ R//}$$

1.3. Se tiene un conductor de 24 pulg de longitud y se mueve a una velocidad de 12 pulg/min a través del entrehierro de un imán permanente en forma de U que tiene un flujo de 50000 líneas. La sección trasversal de los polos del imán es la de un cuadrado de 4 pulg de lado. Suponiendo que el flujo no es disperso: calcular.

- La fuerza electromotriz (FEM) inducida en el conductor cuando se desplaza perpendicularmente al campo magnético con un ángulo de 90°.
- La fuerza electromotriz (FEM) inducida en el conductor cuando se desplaza con un ángulo de 75° respecto al campo magnético.

$$l = 24 \text{ pulg}$$

$$v = 12 \frac{\text{pulg}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} = 1 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

$$\phi = 50\,000 \text{ lineas}$$

$$\text{lado} = 4 \text{ pulgadas}$$

$$\phi = \beta A$$

$$\beta = \frac{\phi}{A} = \frac{50000 \text{ lineas}}{(4 \text{ pulg})(24 \text{ pulg})} = 520.83 \frac{\text{linea}}{\text{pulga}^2}$$

$$\text{a) } e_{ins} = \frac{1}{5} (\beta l v \text{ sen}\theta) * 10^{-8} [V]$$

$$e_{ins} = \frac{1}{5} \left( 520.83 \frac{\text{linea}}{\text{pulga}^2} \right) (24 \text{ pulg}) \left( \frac{1 \text{ pie}}{\text{min}} \right) \text{ sen}90^\circ * 10^{-8} V$$

$$e_{ins} = 2.49 * 10^{-5} V = 24.9 \mu V \approx 25 \mu V \text{ R//}$$

$$\text{b) } e_{ins} = 25 \mu V \text{ sen } 75^\circ = 24.147 \mu V \approx 24.2 \mu V.$$

$$e_{ins} = 24.2 \mu V. \text{ R//}$$

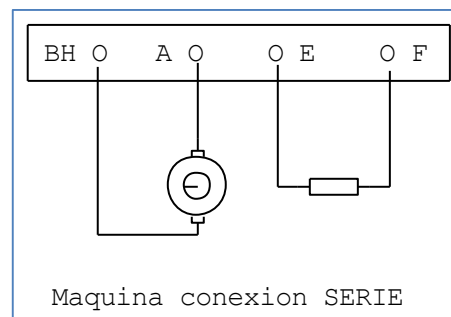
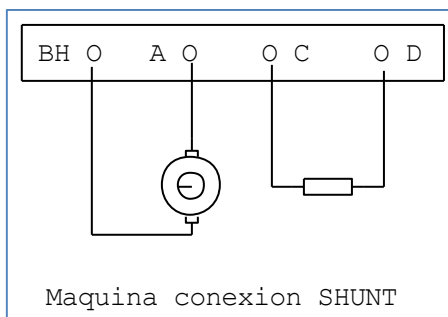
#### 1.4. Se tiene la placa de característica de una maquina eléctrica sus letras

A-BH-CD

A-BH-EF

son: identificar el tipo de motor

Solución:



## Problemas resueltos mediante Matlab del capítulo 1

A continuación se presenta la solución de los ejercicios utilizando el software MATLAB.

### EJERCICIO RESUELTO 1.1.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('1.1.Un flujo de 6.5*10^6 líneas concatena una bobina de 1 espira.');
```

El flujo se anula en 0.125 seg, la bobina cerrada tiene una resistencia de 0.05 Ohms');

```
disp('resistencia de 0.05 Ohms');
fprintf('\nCALCULAR:\n');
disp(' a) El valor medio de la F.E.M generada en una espira');
disp(' b) La corriente media que circula por la espira');
```

%SOLUCION

```
fprintf(' \nSOLUCION:');
%APLICANDO LA FORMULA Emed=(Flujo/t)*10^(-8)
Emed=((6.5*10^6)/0.125)*10^(-8);
fprintf('\nEl valor medio de la F.E.M generada en una espira es: %4.2f
[V]',Emed);
%APLICANDO LEY DE OHM Imed=(Emed/R)
Imed=(Emed/0.05);
fprintf('\nLa corriente media que circula por la espira es: %4.2f
[A]\n',Imed);
```

#### PANTALLA

```
Command Window
1.1.Un flujo de 6.5*10^6 líneas concatena una bobina de 1 espira.
El flujo se anula en 0.125 seg, la bobina cerrada tiene una
resistencia de 0.05 Ohms

CALCULAR:
 a) El valor medio de la F.E.M generada en una espira
 b) La corriente media que circula por la espira

SOLUCION:
El valor medio de la F.E.M generada en una espira es: 0.52 [V]
La corriente media que circula por la espira es: 10.40 [A]
fx >>
```

## EJERCICIO RESUELTO 1.2.

### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('1.2. Un hilo conductor de 1m de L se mueve perpendicularmente a un');
disp('campo magnético de 25000 gauss (Maxwell/cm2) ');
disp('a una velocidad de 25m/seg.');
```

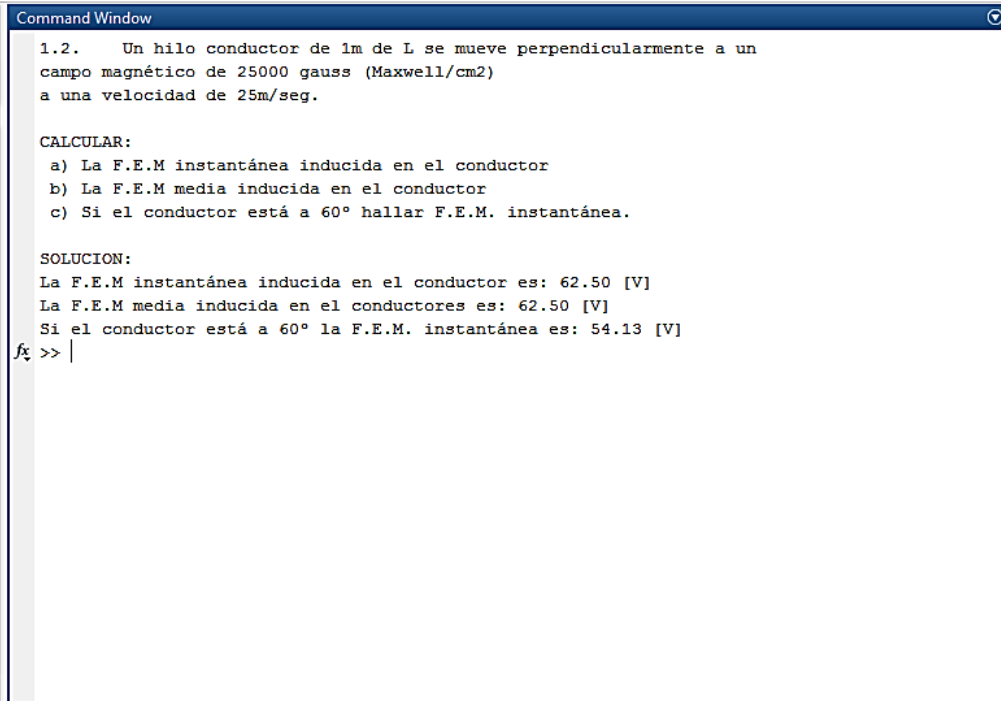
fprintf('\nCALCULAR:\n');

```
disp(' a) La F.E.M instantánea inducida en el conductor');
disp(' b) La F.E.M media inducida en el conductor');
disp(' c) Si el conductor está a 60° hallar F.E.M. instantánea.');
```

%SOLUCION

```
fprintf(' \nSOLUCION:');
%APLICANDO LA FORMULA Eins=B*l*v*10^(-8) [UTILIZANDO LAS MISMAS UNIDADES]
Eins=25000*100*2500*10^(-8);
fprintf('\nLa F.E.M instantánea inducida en el conductor es: %4.2f
[V]',Eins);
%APLICANDO LA FORMULA Flujo=B*A
F=(25000*(2500*100));
%APLICANDO LA FORMULA Emed=(Flujo/t)*10^(-8)
Emed=(F/1)*10^(-8);
fprintf('\nLa F.E.M media inducida en el conductores es: %4.2f [V]',Emed);
%APLICANDO LA FORMULA Eint= (B*L*v*sin60)*10^(-8) [V]
Eint= (25000*100*2500*sin((pi*60)/180))*10^(-8);
fprintf('\nSi el conductor está a 60° la F.E.M. instantánea es: %4.2f
[V]\n',Eint);
```

### PANTALLA



```
Command Window
1.2. Un hilo conductor de 1m de L se mueve perpendicularmente a un
campo magnético de 25000 gauss (Maxwell/cm2)
a una velocidad de 25m/seg.

CALCULAR:
 a) La F.E.M instantánea inducida en el conductor
 b) La F.E.M media inducida en el conductor
 c) Si el conductor está a 60° hallar F.E.M. instantánea.

SOLUCION:
La F.E.M instantánea inducida en el conductor es: 62.50 [V]
La F.E.M media inducida en el conductores es: 62.50 [V]
Si el conductor está a 60° la F.E.M. instantánea es: 54.13 [V]
fx >> |
```

### EJERCICIO RESUELTO 1.3.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('1.3. Un conductor de 24pulg de longitud se mueve a una velocidad
de');
disp('12pulg/min a través del entrehierro de un imán permanente en forma de
U');
disp('que tiene un flujo de 50000 líneas. La sección trasversal de los');
disp('polos del imán es la de un cuadrado de 4 pulg de lado.');
```

disp('Suponiendo que el flujo no es disperso');

fprintf('\nCALCULAR:\n');

disp('a) La F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza');

disp(' perpendicularmente al campo magnético con un ángulo de 90°.');

disp('b) La F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza con un');

disp(' ángulo de 75° respecto al campo magnético.');

%SOLUCION

fprintf( '\nSOLUCION:');

Flujo=50000;

L=24;

A=L\*4;

%Convirtiendo de [pul/min] a [pie/min]

v=12\*(1/12);

%APLICANDO LA FORMULA B=(Flujo/A)

B=(Flujo/A);

%APLICANDO LA FORMULA Eind= (1/5)\*(B\*L\*v\*sin90)\*10<sup>(-8)</sup> [V]

Eind1= ((1/5)\*(B\*L\*v\*sin(pi/2)))\*10<sup>(-8)</sup>;

fprintf('\nLa F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza con un
ángulo de 90 es: %4.7f [V]',Eind1);

%APLICANDO LA FORMULA Eind= (1/5)\*(B\*L\*v\*sin75)\*10<sup>(-8)</sup> [V]

Eind2= ((1/5)\*(B\*L\*v\*sin((pi\*75)/180)))\*10<sup>(-8)</sup>;

fprintf('\nLa F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza con un
ángulo de 75 es: %4.7f [V]\n',Eind2);



## PANTALLA

```
Command Window
1.3. Un conductor de 24pulg de longitud se mueve a una velocidad de
12pulg/min a través del entrehierro de un imán permanente en forma de U
que tiene un flujo de 50000 líneas. La sección transversal de los
polos del imán es la de un cuadrado de 4 pulg de lado.
Suponiendo que el flujo no es disperso

CALCULAR:
a) La F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza
perpendicularmente al campo magnético con un ángulo de 90°.
b) La F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza con un
ángulo de 75° respecto al campo magnético.

SOLUCION:
La F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza con un ángulo de 90 es: 0.0000250 [V]
La F.E.M inducida en el conductor cuando se desplaza con un ángulo de 75 es: 0.0000241 [V]
fx >>
```

## Problemas propuestos del capítulo 1.

1.1. Un flujo de  $6,5 \cdot 10^6$  líneas concatena una bobina de una espira. El flujo se anula en 0,125s. la bobina cerrada tiene una resistencia de 0,05 ohmios, calcular:

- a) El valor medio de la FEM generada en la espira.
- b) La corriente media que circula por la espira.

**Respuestas:**

- a.  $E_{med} = 0,52 \text{ V}$
- b.  $I_{med} = 10,4 \text{ A}$

1.2. Un solo conductor de 1m de longitud se mueve perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 25000 gauss (maxwells/cm<sup>2</sup>) a una velocidad uniforme de 25 m/s. Calcular:

- a) La FEM instantánea inducida en el conductor.
- b) La FEM media inducida en el conductor.

**Respuestas:**

- a.  $e = 62,5 \text{ V}$
- b.  $E_{med} = 62,5 \text{ V}$

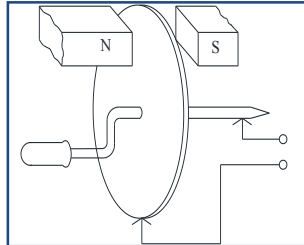
1.3. Un conductor de 24 pulgadas de longitud se mueve a una velocidad de 12 pulgadas/minutos a través del entrehierro de un imán permanente en forma de U que tiene un flujo de 50000 línea. La sección transversal de los polos del imán es la de un cuadrado de 4 pulgadas de lado. Suponiendo que el flujo no se dispersa, calcular:

- a) La FEM inducida en el conductor cuando se desplaza perpendicularmente al campo magnético (con un ángulo de  $90^\circ$ ).
- b) La FEM inducida en el conductor cuando se desplaza con un ángulo de  $75^\circ$  con respecto al campo magnético.

**Respuestas:**

- a.  $e_a = 25 \mu\text{V}$
- b.  $e_a = 24,15 \mu\text{V}$

- 1.4. El generador homopolar de Michael Faraday (véase la figura 1 adjunta) es un disco de 12 pulgadas de diámetro en un campo de 80000 líneas/pulg<sup>2</sup>. El disco se hace girar manualmente a 60 rpm. El eje tiene un diámetro de 1 pulg. Calcular la tensión inducida en el borde exterior del eje y el del disco. (Sugerencia: Calcular la velocidad lineal media.)



**Respuestas:**  
 $v_{prom} = 1,4391 \text{ pie/seg}$   
 $e_{int} = 0,083 \text{ V}$

Figura 1. Generador homopolar de Michael Faraday

- 1.5. La componente vertical del campo magnético terrestre es de 0.645 gauss en las proximidades de una locomotora que viaja hacia el sur a una velocidad de 60 millas/h. Los raíles y el eje de la locomotora tienen una separación de 6 pies. Calcular:

**Respuestas:**  
 a.  $e = 3,16 \text{ mV}$   
 b.  $e_{med} = 3,16 \text{ mV}$   
 c. En los raíles este (+) y oeste (-)  
 d.  $e = 4,218 \text{ mV}$

- La FEM inducida en los de cada juego de ruedas.
- La FEM media medida en los rieles producida en el problema 1-5a.
- La polaridad de los raíles Este y oeste, respectivamente.
- Trazar la escala de un velocímetro eléctrico desde cero hasta una velocidad máxima de 80 millas / hora utilizando un voltímetro.

- 1.6. La tensión inducida en un conductor que se desplaza en un campo magnético uniforme es de 25 v cuando la velocidad es de 60 cm/s. Calcular la FEM inducido cuando:

**Respuestas:**  
 a.  $e = 28,75 \text{ V}$   
 b.  $e = 17,5 \text{ V}$   
 c.  $e = 27 \text{ V}$

- El flujo se incremente en un 15%.
- La velocidad se reduce en un 30%.
- La velocidad se incrementa en un 20% y el flujo se reduce en un 10%.

- 1.7. El flujo por polo de un generador bipolar es de  $10 \cdot 10^6$  líneas. Se acciona a la velocidad de 1500rpm. Para inducir una tensión de 20v/bobina, calcular:

- a. El tiempo necesario para completar una revolución y un cuarto de revolución (el tiempo para que el flujo varíe de cero al máximo por polo).
- b. El número de espiras en serie por bobina, utilizando la ecuación (1.1)
- c. Comprobar el problema 1-8b utilizando la ecuación (1.2)

**Respuestas:**

- a.  $t = 0,01 \text{ seg}$
- b.  $N = 2 \text{ espiras/bobina}$
- c.  $N = 2 \text{ espiras/bobina}$

1.8. El flujo por polo de un generador tetrapolar es  $10 \times 10^6$  líneas. Es accionada con una velocidad de 1500 rpm. Para incluir una tensión de 20 v/bobina, calcular:

- a. El tiempo necesario para completar un octavo de vuelta (tiempo preciso para que el flujo varíe a un máximo por polo).
- b. El número de espiras en serie utilizando las ecuaciones (1-1) y (1-5) respectivamente.
- c. Explicar la diferencia entre las espiras en serie requeridas en los problemas 1.7 y 1.8, respectivamente.
- d. El número de conductores entre escobillas que se precisan para generar 120v.

**Respuestas:**

- a.  $t = 5 \text{ ms}$
- b.  $N = 1 \text{ espira}$
- c. En el problema 1.7 el flujo es bipolar y en problema 1.8 es tetrapolar
- d.  $Z = 12 \text{ conductores}$

## **CAPÍTULO 2. MAQUINA DE CORRIENTE CONTINUA**

## Características.

Se designa como máquina de corriente continua (conexión serie) cuando las bobinas de campo están conectadas en serie con la bobina de armadura.

- Estas bobinas de campo se caracterizan por tener pocas espiras y una gran sección.

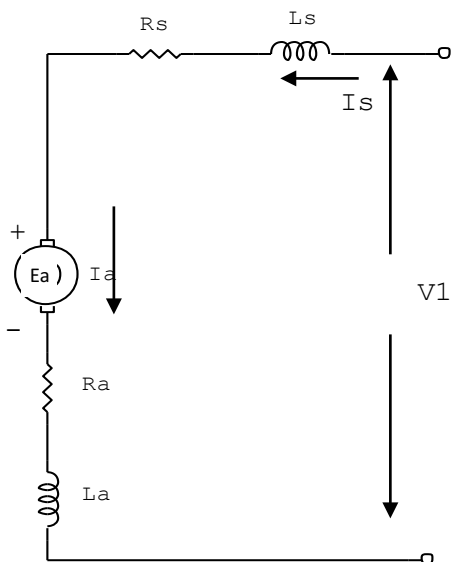
## Ventajas.

- En la máquina de corriente continua (conexión serie) el par de arranque es más elevado que la máquina de corriente.(conexión paralelo)
- El par de esta máquina es directamente proporcional a la corriente de armadura elevada al cuadrado ( $I_a^2$ ).

## Desventajas.

- Esta máquina si se deja en vacío en condiciones normales, presenta el peligro de embalsarse debido al reducido valor de flujo de la carga.
- Esta corriente de armadura es igual a  $I_a = I_s = I_f$ , por estar conectado en serie.
- En consecuencia la velocidad del motor, depende totalmente de la corriente de campo por lo tanto la velocidad es baja cuando la carga es pesada y es alta cuando la carga es liviana.

## Circuito equivalente



|             |   |   |
|-------------|---|---|
| $V_1$       | = | Voltajes de los terminales                        |
| $E_a$       | = | Voltajes en las armaduras o FCM                   |
| $R_a$       | = | Resistencia de armadura                           |
| $I_a$       | = | Corriente de armadura                             |
| $I_s$       | = | Corriente de la bobina en serie                   |
| $I_i$       | = | Corriente de alimentación                         |
| $R_s$       | = | Resistencia en serie                              |
| $K$         | = | KTE que depende de la construcción de la máquina. |
| $\emptyset$ | = | Flujo del devanado de campo serie                 |
| $\omega$    | = | Velocidad Angular                                 |

$\tau$  = PAR que entrega la maquina entre sus terminales

$L_a/L_s$  = Bobina de campo y armadura.

$$\text{Si } I_a = I_s$$

$$V_1 = E_a + R_s I_s + R_a I_a \quad (2.1)$$

$$V_1 = E_a + R_s I_a + R_a I_a$$

$$V_1 = E_a + (R_s + R_a) I_a \quad (2.2)$$

$$E_a = K \phi W$$

$$(2.3)$$

$$\tau = K \phi I_a$$

$$(2.4)$$

### 2.1.1. Análisis de la curva de velocidad angular vs corriente

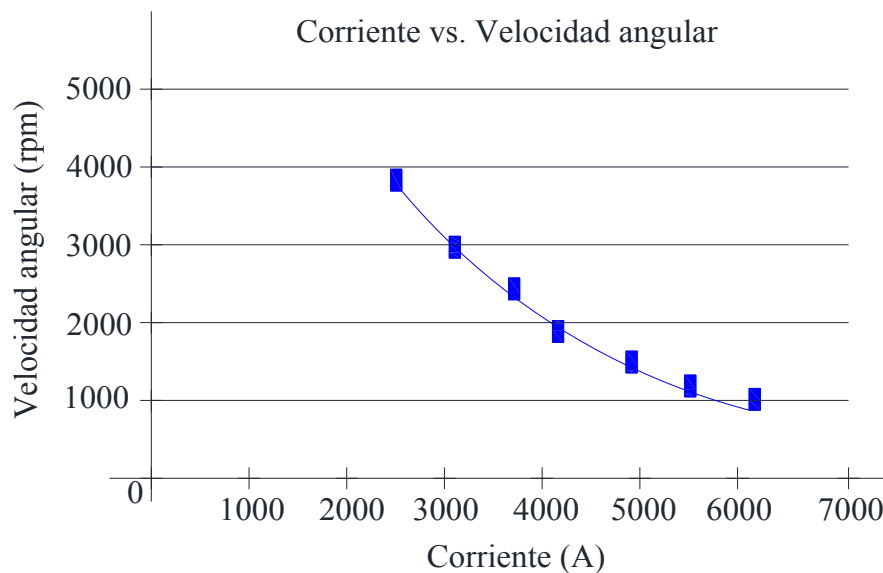


Figura 2.1. Análisis curva de velocidad angular vs corriente

En la Figura 2.1 se describe la curva de la corriente en función de la velocidad, en la cual se le va quitando gradualmente su carga y se va elevando la velocidad de la máquina.

### Generador de CC conexión en serie.

Un generador de corriente continua, con conexión en serie es parecido al motor de CC conexión en serie en cuanto a sus componentes y sus estructuras.

- En el devanado de campo serie circula una corriente en serie ( $I_s$ ) que es igual a la corriente de armadura ( $I_a$ ).

Por lo tanto el flujo que produce el devanado de campo en serie está en función de la corriente de armadura ( $I_a$ ) y a su vez depende de la carga conectado a los bordes de la máquina.

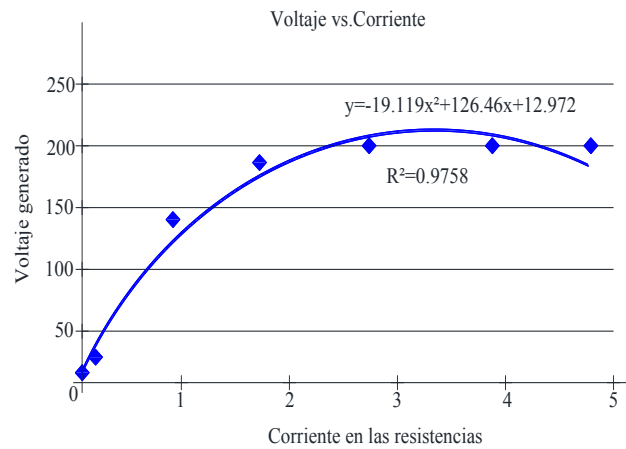
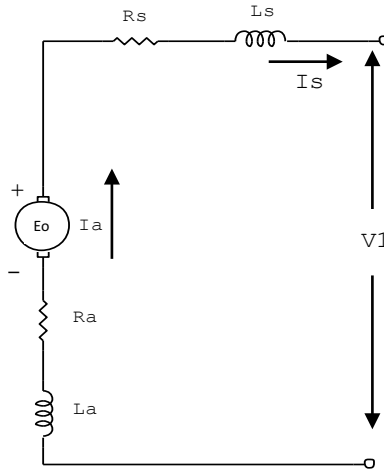


Figura 2.2. Análisis curva de velocidad angular vs corriente

En la Figura 2.2 se describe la curva de la tensión generada por la maquina versus la corriente que circula en la carga conectada en sus respectivos terminales. Se puede apreciar que la tensión generada no inicia en el punto cero debido al flujo remanente interno de la máquina, y una vez alcanzado su condición nominal la maquina se satura y la tensión generada nuevamente empieza a disminuir.

$$V_1 = E_o - (R_a + R_s)I_a \tag{2.5}$$



$$E_{af} = \frac{n_f}{n_o} * E_o \quad (2.6)$$

Donde:

$n_f$  = Velocidad angular final (rpm)

$n_o$  = Velocidad angular inicial (rpm)

$E_{af}$  = Voltaje de armadura final (voltio)

$E_o$  = Voltaje de armadura inicial (voltio)

$$E_e = \frac{\phi n t}{60} \left( \frac{P}{a} \right) \quad (2.7)$$

Donde:

$E_e$  = Voltaje entre las escobillas

$\phi$  = Flujo

$n$  = Velocidad angular

$z$  = Números de conductores

$P$  = números de polos

$a$  = Devanado (imbricado/ondulado)

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}}$$

(2.8)

Donde:

$\eta$  = Eficiencia

$P_s$  = Potencia de salida

$P_e$  = Potencia de entrada

### **Motor de CC con conexión en paralelo.**

- El motor de corriente continua con conexión en paralelo es diferente del motor de corriente continua con conexión serie, ya que el devanado inductor está conectado en paralelo con su armadura a este tipo de máquina se le conoce como motor shunt, derivación o paralelo.
- Su construcción es diferente a la del motor C.C. con conexión en serie ya que la bobina de campo en derivación esta devanada con alambre de calibre delgado y muchas espiras, o vueltas, esto es para generar un campo suficientemente fuerte para mantener la velocidad constante.
- Esta condición significa que el motor tiene un par ( $\tau$ ) de arranque menor que el motor serie.

## Circuito equivalente

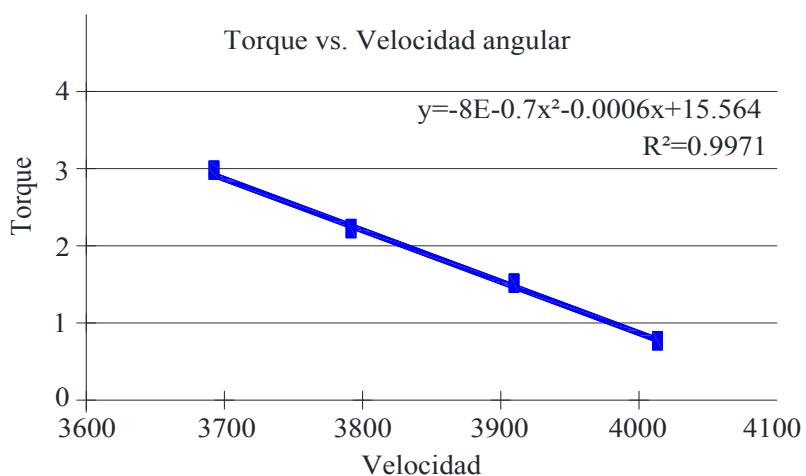
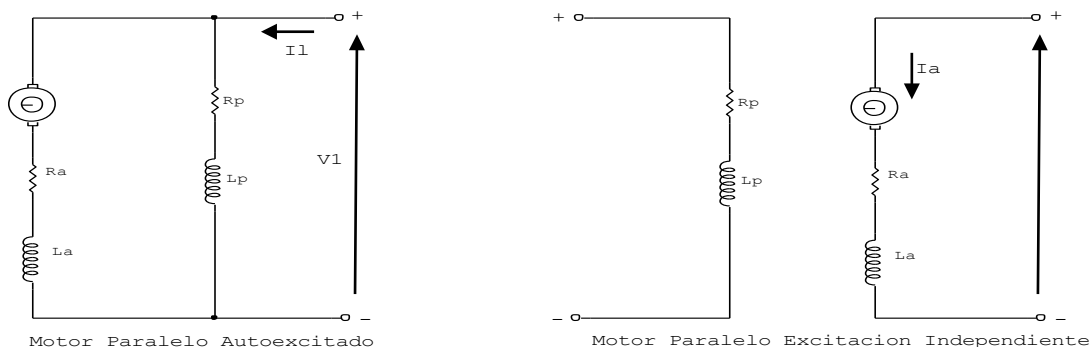


Figura 2.3. Análisis curva de velocidad angular vs corriente

En la Figura 2.3 se describe la curva del par respecto a la velocidad, en donde se puede apreciar que la velocidad es constante en este tipo de motor comparado con el motor de conexión en serie.

$$V_1 = E_a + I_a R_a \quad (2.9)$$

$$V_p = V_1 I_L = I_p + I_a \quad (2.10)$$

$$\tau = k I_a \quad (2.11)$$

$$E_a = K \phi n \quad (2.12)$$

$$P_m = P_e$$

$$\begin{cases} E_{af} = K W_f \\ E_{ao} = K W_o \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \frac{E_{af}}{E_{ao}} = \frac{K W_f}{K W_o} \end{array} \right.$$

$$\tau w = I_a E_a \quad (2.13)$$

$$\tau = \frac{I_a E_a}{w} \quad (2.14)$$

$$\text{Si } K=1 \Rightarrow \frac{E_{af}}{E_{ao}} = \frac{W_f}{W_o}$$

$$E_a = K\phi n$$

$$n = \frac{E_a}{k\phi} = \frac{V_1 - (R_a + R_s)I_a}{k\phi} \quad (2.15)$$

$$\text{Si } \phi = K' I_f$$

$$K = 1$$

$$\phi = I_f$$

$$E_a = K\phi n$$

final

$$E_a = K I_f n \quad (2.16)$$

campo

$P_e$  = Perdida eléctrica

$P_m$  = perdida mecánica

$\tau$  = PAR

$E_{af}$  =  $E_a$  final

$E_{ao}$  =  $E_a$  inicial

$W_f$  = Velocidad angular

$I_e$  = Intensidad de

$\phi$  = Flujo

$n = w$  = Velocidad

## Característica del par electromagnético de los motores de corriente continua.

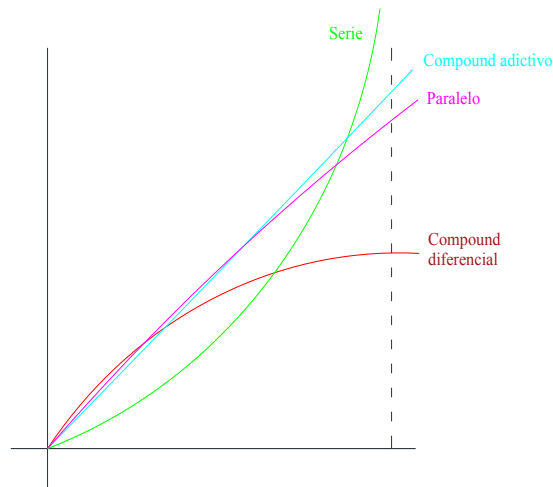


Figura 2.4. Análisis par electromagnético de los motores c.c.

La ecuación 2.4  $\tau = \phi k I_a$  proporciona un medio predecir como varía el par ( $\tau$ ) con la aplicación de carga (RI) o sea la corriente de inducido  $I_a$

### Motor serie (resumen).

- La corriente de armadura ( $I_a$ ) y ( $I_s$ ) son las mismas.
- El flujo producido por la excitación serie aumenta proporcionalmente a al corriente del inducido ( $I_a$ ) ecuación del par para el motor serie es  $\tau = K I_a^2$  hasta que el circuito de magnetización no está saturado (sobre la parte lineal de la curva de magnetización).
- La curva par  $\tau$  vs  $I_a$  es exponencial.

### Motor paralelo (resumen).

- Durante el periodo de arranque y de marcha la corriente en el circuito de excitación en derivación es constante para un ajusta determinado el reóstato de campo y en consecuencia el flujo es constante.
- Al aumentar la carga del el motor disminuye ligeramente su velocidad originando una disminución de la fuerza contra electromotriz (F.C.M.) y una corriente de armadura ( $I_a$ ).

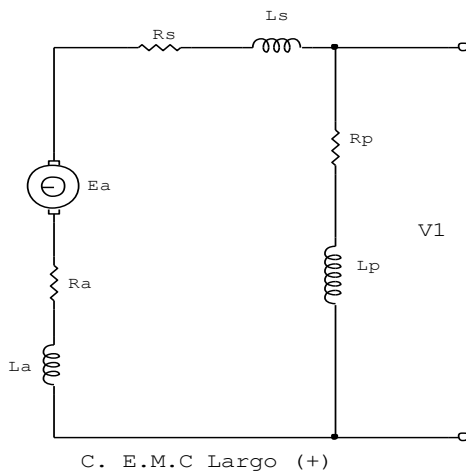
## Motor Compound (resumen).

- Cuando en los polos de la misma máquina de corriente continua, se instalan unos de los polos de excitación en derivación y otro en serie, la excitación en serie puede ser compound aditivo o diferencial.
- La corriente en la excitación serie es función de la corriente de carga devanada por el inducido.

$$\tau = K(\phi_c + \phi_s)I_a \quad (2.17)$$

- Un motor compuesto combina las características de los motores serie y paralelo ya que esta máquina tiene el devanado de campo serie y devanado de campo paralelo.
- Dependiendo de la conexión de estos pueden clasificarse como motor compuesto largo y motor compuesto corto y pueden ser aditivo y diferencial.
- Cuando el devanado de campo serie se conecta en serie con la armadura se conoce como motor compuesto largo.
- Cuando el devanado de campo serie se conecta en serie con la línea se lo conoce como motor compuesto corto.
- Dependiendo de las marcas de las polaridades en las bobinas de excitación serie y paralelo se clasifican como aditivo y diferencial.

### Circuito equivalente.



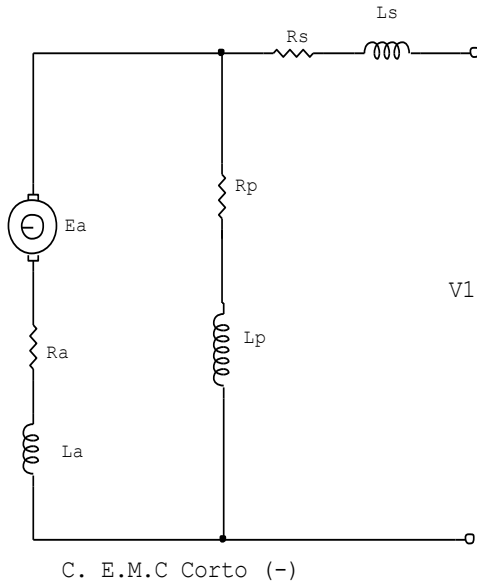
$$V_1 = E_a - (R_a + R_s)I_a$$

$$V_1 = V_p$$

$$I_e = I_a + I_p$$

$$I_a = I_s$$

$$I_p = \frac{V_p}{R_p}$$



$$V_1 = E_a - R_a I_a - R_s I_s$$

$$V_p = E_a + R_a I_a$$

$$I_L = I_S = I_a + I_p$$

$$I_p = \frac{V_p}{R_p}$$

## PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 2.

2.1 Se tiene un generador de corriente continua con excitación con conexión en serie, siendo los datos de placa 15kW, 220V, 3400 rpm la suma de los devanados de campos y armaduras es iguala  $4.41\Omega$  y la curva de magnetización se muestra en la tabla:

| $I_a$ (A) | 0   | 1  | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
|-----------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $E_a$ (V) | 5.7 | 53 | 122 | 174 | 195 | 213 | 225 | 232 |

a) Determinar el voltaje entregado en los terminales del generador cuando la carga varia en las corrientes de armaduras siguientes

$$I_a=1(\text{A})$$

$$I_a=5(\text{A})$$

$$I_a=8(\text{A})$$

b) Calcular la perdida de potencia en el devanado en serie y de campo para cada caso

a) **Voltaje**

Para  $I_a=1$  A       $E_a=53\text{V}$

$$V_1 = E_a - (R_a + R_s)I_a$$

$$V_1 = 53 - (4.41)1$$

$$V_1 = 48.59[\text{V}] \quad \mathbf{R//}$$

Para  $I_a=5$  A       $E_a=195\text{V}$

$$V_2 = E_a - (R_a + R_s)I_a$$

$$V_2 = 195 - (4.41)5$$

$$V_2 = 172.95[\text{V}] \quad \mathbf{R//}$$

Para  $I_a=8\text{ A}$        $E_a=232\text{V}$

$$V_3 = E_a - (R_a + R_S)I_a$$

$$V_3 = 232 - (4.41)8$$

$$V_3 = 196.72[\text{V}]$$

**b) Potencia**

**Caso 1**

$$P=V \cdot I \quad P=V_1 \cdot i_1$$

$$P= (53) (1) \quad P= (48.59) (1)$$

$$P=53\text{W} \quad P=48.59\text{W}$$

$$\Delta P=53\text{W}-48.59\text{W}$$

$$\Delta P=4.41\text{W} \quad \mathbf{R//}$$

**Caso 2**

$$P=V_2 \cdot i_2 \quad P=V_2 \cdot i_2$$

$$P= (195) (5) \quad P= (172.95) (5)$$

$$P=975\text{W} \quad P=864.75\text{W}$$

$$\Delta P=975\text{W}-864.75\text{W}$$

$$\Delta P=110.25\text{W} \quad \mathbf{R//}$$

**Caso 3**

$$P=V_2 \cdot i_2 \quad P=V_2 \cdot i_2$$

$$P= (232) (8) \quad P= (196.72) (8)$$

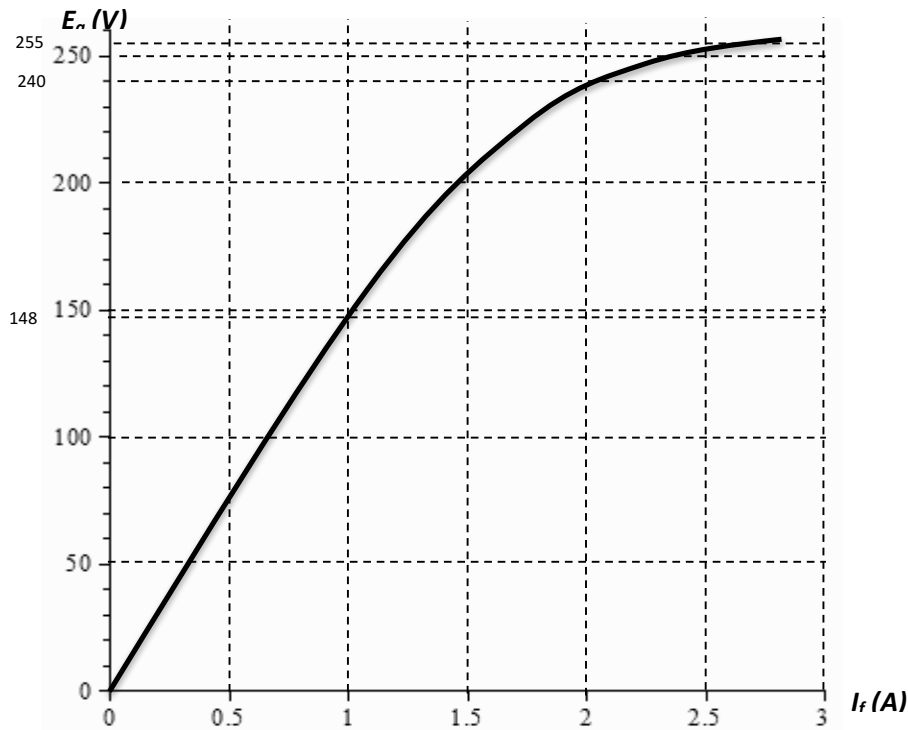
$$P=1856\text{W} \quad P=1573.76\text{W}$$

$$\Delta P=1856\text{W}-1573.76\text{W}$$

$$\Delta P=282.24\text{W} \quad \mathbf{R//}$$

2.2. Un Maquina de corriente continua, tiene una curva de magnetización indicada en la figura sus características técnicas son : 25Hp, 250V y gira a una velocidad de 1100rpm, su conexión es excitación separada y tiene una resistencia de inducido de  $0.12 \Omega$  va a trabajar como un generador de c.c impulsada por un motor síncrono que gira a 1100 rpm.

- calcular la corriente de armadura
- Si se limita la corriente de armadura a su valor nominal calcular la potencia de salida máxima del generador y le voltaje terminal correspondiente de campo para 1[A], 2[A] y 2.5 [A]
- Repetir la parte (b) si la velocidad del motor síncrono se reduce a 800rpm



### Datos

$$P_o = 25\text{Hp} = 18.65 \text{ KW}$$

$$V = 250\text{V}$$

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad P &= V \cdot I \\ I &= P/V \\ I &= 18.65\text{KW}/250\text{V} \\ I &= 74.6 \text{ A} \quad \text{R//} \end{aligned}$$

### b) Caso 1

$$I_f = 1 \text{ [A]} \quad E_a = 148 \text{ [V]}$$

### Caso 2

$$\begin{aligned} I_f &= 2 \text{ [A]} \quad E_a = 240 \text{ [V]} \\ V_2 &= E_a - (R_a)I_a \\ V_2 &= 240 - (0.12)74.6 \\ V_2 &= 231.048 \text{ [V]} \quad \text{R//} \end{aligned}$$

### Caso 3

$$\begin{aligned} I_f &= 2.5 \text{ [A]} \quad E_a = 255 \text{ [V]} \\ V_3 &= E_a - (R_a)I_a \\ V_3 &= 255 - (0.12)74.6 \\ V_3 &= 246.04 \text{ [V]} \quad \text{R//} \end{aligned}$$



$$V_1 = E_a - (R_a)I_a$$

$$V_1 = 148 - (0.12)74.6$$

$$V_1 = 139.04 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

### Potencia

#### Caso 1

$$P = V_1 * I_1$$

$$P = (139.04) (74.6)$$

$$P = 10372.4 \text{ [W] } \mathbf{R//}$$

#### Caso 2

$$P = V_2 * I_2$$

$$P = (231.04) (74.6)$$

$$P = 17235.58 \text{ [W] } \mathbf{R//}$$

#### Caso 3

$$P = V_3 * I_3$$

$$P = (246.04) (74.6)$$

$$P = 18354.58 \text{ [W] } \mathbf{R//}$$

### c)

#### Caso 1

$$E_{af} = \frac{n_f}{n_o} * E_o$$

$$E_{af} = \frac{800\text{rpm}}{1100\text{rpm}} * 148$$

$$E_{af} = 107.63 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

#### Caso 2

$$E_{af} = \frac{n_f}{n_o} * E_o$$

$$E_{af} = \frac{800\text{rpm}}{1100\text{rpm}} * 240$$

$$E_{af} = 174.54 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

#### Caso 3

$$E_{af} = \frac{n_f}{n_o} * E_o$$

$$E_{af} = \frac{800\text{rpm}}{1100\text{rpm}} * 255$$

$$E_{af} = 185.45 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

$$V_1 = E_a - (R_a)I_a$$

$$V_1 = 107.63 - (0.12)74.6$$

$$V_1 = 98.68 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

$$V_2 = E_a - (R_a)I_a$$

$$V_2 = 174.54 - (0.12)74.6$$

$$V_2 = 165.59 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

$$V_3 = E_a - (R_a)I_a$$

$$V_3 = 185.45 - (0.12)74.6$$

$$V_3 = 176.5 \text{ [V] } \mathbf{R//}$$

$$P_1 = V_1 * I$$

$$P_1 = (98.68)(74.6)$$

$$P_1 = 7361.85 \text{ [W] } \mathbf{R//}$$

$$P_2 = V_2 * I$$

$$P_2 = (165.59)(74.6)$$

$$P_2 = 1235.27 \text{ [W] } \mathbf{R//}$$

$$P_3 = V_3 * I$$

$$P_3 = (176.5)(74.6)$$

$$P_3 = 13167.08 \text{ [W] } \mathbf{R//}$$

**2.3. La resistencia de armadura de un motor de corriente directa en derivación es  $R_a=0.5\Omega$  el voltaje en los terminales es igual a 250V y gira a una velocidad de 1200rpm. Determinar la resistencia externa que debe conectarse en serie con una resistencia de armadura para reducir la velocidad del motor a 1000rpm si la corriente de armadura es  $I_a=60A$  y el flujo se mantiene constante.**

### Datos

$$R_a=0.5\Omega$$

$$V_1=250V$$

$$W_o=1200\text{rpm}$$

$$W_f=1000\text{rpm}$$

$$I_a=60A \mathbf{R//}$$

$$V_1 = E_a - R_a I_a$$

$$E_a = V_1 - R_a I_a$$

$$E_a = 250 - (0.5)(60)$$

$$E_a = 220V \mathbf{R//}$$

$$E_a = K\phi n$$

$$K = \frac{E_a}{n\phi}$$

$$K = \frac{220V}{125.6\text{rad/seg}}$$

$$K = 1.75 \mathbf{R//}$$

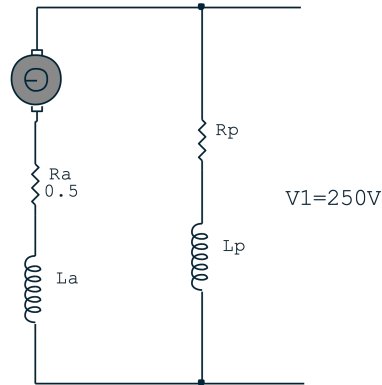
$$E_a = (1.75)(104.72)$$

$$E_a = 183.22V$$

$$V_1 = E_a - R_a I_a$$

$$R_a = \frac{V_1 - E_a}{I_a} = \frac{250V - 183.22V}{60}$$

$$R_a = 1.11\Omega \quad \mathbf{R//}$$



**2.4. Un motor de corriente continua con conexión en derivación tiene un voltaje alimentación de 220V desarrolla un par de 45 N.m cuando la corriente de armadura ( $I_a$ ) absorbe 12 A. calcular el par de la maquina cuando la corriente armadura tiene los siguientes cambios; 6A, 8A, 24A.**

**Considerar el flujo KTE**

$$K = \frac{\tau}{\phi I_a} = \frac{45N.m}{12A} = 3.75 \quad \mathbf{R//}$$

$$\tau = K I_a$$

$$\tau = 3.75 * 6$$

$$\tau = 22.5N.m \quad \mathbf{R//}$$

$$\tau = K I_a$$

$$\tau = 3.75 * 8$$

$$\tau = 30N.m \quad \mathbf{R//}$$

$$\tau = K I_a$$

$$\tau = 3.75 * 24$$

$$\tau = 90N.m \quad \mathbf{R//}$$

## EJERCICIOS DE MATLAB DEL CAPITULO 2.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA LA SOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB.

### EJERCICIO RESUELTO 2.1.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('2.1 Se tiene un generador de C.C con excitación en serie en los ');
disp('siguientes datos de placas 15kW, 220V, 3400 rpm la suma de los
devanados');
disp('es iguala 4.41? y la curva de magnetización se muestra en la siguiente
tabla');
disp('Ia = [ 0 , 1 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 ]');
disp('Ea = [5.7 , 53 , 122 , 174 , 195 , 213 , 225 , 232]');
fprintf('\nCALCULAR:\n');
disp('a) Determinar el voltaje entregado en los terminales del generador');
disp(' cuando la carga varia en Ia=1[A]; Ia=5[A]; Ia=8[A];');
disp('b) Calcular la perdida de potencia en el devanado en serie y de campo');
disp(' para cada caso');
%SOLUCION
fprintf( '\nSOLUCION:');
%Suma Rt=Ra+Rs
Rt=4.41;
%Guardando los datos de la tabla en matriz
Ia=[0,1,3,4,5,6,7,8];
Ea=[5.7,53,122,174,195,213,225,232];
fprintf('\n\na)');
%Aplicando la formula V1=Ea-(Ra+Rs)Ia
%CASO 1 Ia=1[A]
V1=Ea(2)-(Rt)*Ia(2);
fprintf('\nCuando Ia=1,El voltaje entregado es: %4.2f [V]',V1);
%CASO 2 Ia=5[A]
V2=Ea(5)-(Rt)*Ia(5);
fprintf('\nCuando Ia=5,El voltaje entregado es: %4.2f [V]',V2);
%CASO 3 Ia=8[A]
V3=Ea(8)-(Rt)*Ia(8);
fprintf('\nCuando Ia=8,El voltaje entregado es: %4.2f [V]',V3);
fprintf('\n\nb)');
%APLICANDO LA FORMULA P1=Ea*Ia
%CASO 1 Ia=1[A]
P1_1=Ea(2)*Ia(2);
P2_1=V1*Ia(2);
P_1=P1_1-P2_1;
fprintf('\nCuando Ia=1,la perdida de potencia es: %4.2f [W]',P_1);
%CASO 2 Ia=5[A]
P1_2=Ea(5)*Ia(5);
P2_2=V2*Ia(5);
P_2=P1_2-P2_2;
fprintf('\nCuando Ia=5,la perdida de potencia es: %4.2f [W]',P_2);
%CASO 3 Ia=8[A]
P1_3=Ea(8)*Ia(8);
```

```
P2_3=V3*Ia(8);
P_3=P1_3-P2_3;
fprintf('\nCuando Ia=8, la perdida de potencia es: %4.2f [W]\n',P_3);
```

## PANTALLA

The screenshot shows a MATLAB Command Window with the following text:

```
Command Window
2.1 Se tiene un generador de C.C con excitación en serie en los
siguientes datos de placas 15kW, 220V, 3400 rpm la suma de los devanados
es iguala 4.41? y la curva de magnetización se muestra en la siguiente tabla
Ia = [ 0 , 1 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 ]
Ea = [ 5.7 , 53 , 122 , 174 , 195 , 213 , 225 , 232 ]

CALCULAR:
a) Determinar el voltaje entregado en los terminales del generador
cuando la carga varia en Ia=1[A]; Ia=5[A]; Ia=8[A];
b) Calcular la perdida de potencia en el devanado en serie y de campo
para cada caso

SOLUCION:

a)
Cuando Ia=1,El voltaje entregado es: 48.59 [V]
Cuando Ia=5,El voltaje entregado es: 172.95 [V]
Cuando Ia=8,El voltaje entregado es: 196.72 [V]

b)
Cuando Ia=1,la perdida de potencia es: 4.41 [W]
Cuando Ia=5,la perdida de potencia es: 110.25 [W]
Cuando Ia=8,la perdida de potencia es: 282.24 [W]
fx >>
```

## EJERCICIO RESUELTO 2.3.

### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('2.3 La resistencia de armadura de un motor de corriente directa en ');
disp('derivación es Ra=0.5[Ohmios]. El voltaje en los terminales es igual');
disp(' a 250V y gira a una velocidad de 1200rpm');
fprintf('\nDETERMINAR:\n');
disp('La resistencia externa que debe conectarse en serie');
disp('con una resistencia de armadura para reducir la velocidad del motor');
disp('a 1000rpm si la corriente de armadura es Ia=60A y el flujo se');
disp('mantiene constante.');
```

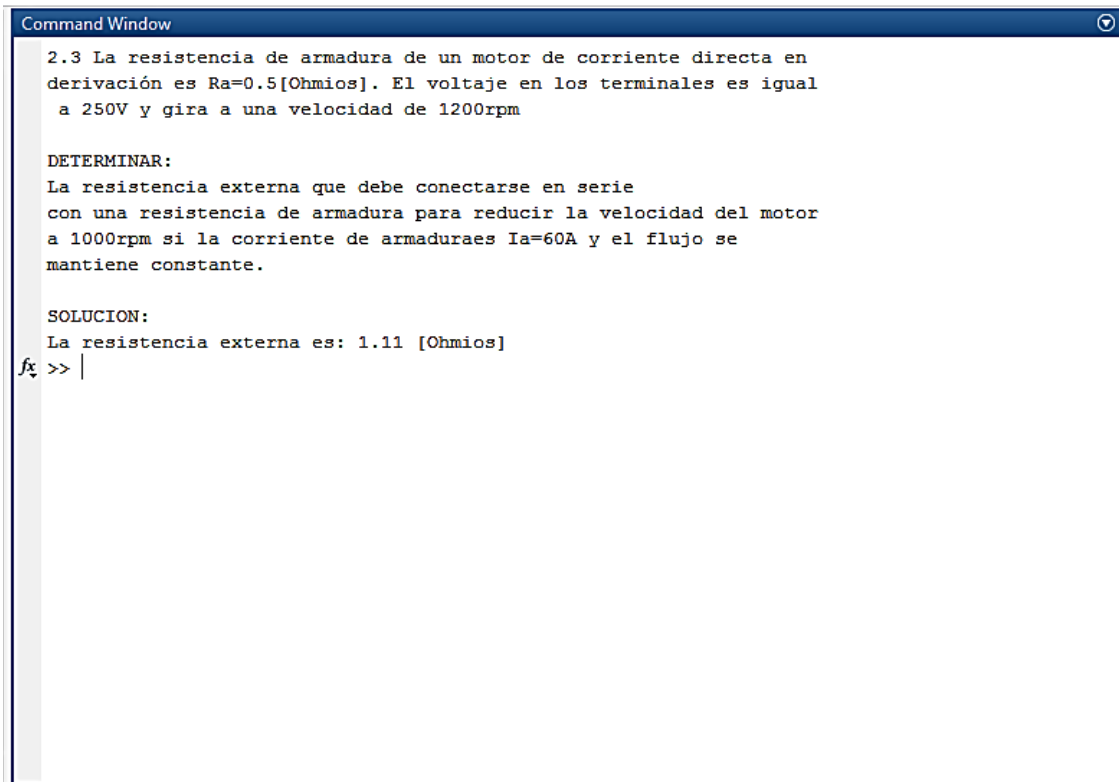
```
%SOLUCION
fprintf( '\nSOLUCION:');
%DATOS
Ra=0.5;
V1=250;
W0=1200;
Wf=1000;
```

```

Ia=60;
%APLICANDO LA FORMULA Ea=Vl-RaIa
Ea=Vl-Ra*Ia;
%CONVIRTIENDO DE RPM A rad/seg (nF)
rad1=W0*(2*pi/60);
rad2=Wf*(2*pi/60);
%APLICANDO LA FORMULA K=(Ea/nF)
K=(Ea/rad1);
%APLICANDO LA FORMULA Ea=K*nF
Eaf=K*rad2;
%APLICANDO LA FORMULA Ra=(Vl-Eaf)/Ia
Raf=(Vl-Eaf)/Ia;
fprintf('\nLa resistencia externa es: %4.2f [Ohmios]\n',Raf);

```

## PANTALLA



The screenshot shows a MATLAB Command Window with the following text:

```

2.3 La resistencia de armadura de un motor de corriente directa en
derivación es Ra=0.5[Ohmios]. El voltaje en los terminales es igual
a 250V y gira a una velocidad de 1200rpm

DETERMINAR:
La resistencia externa que debe conectarse en serie
con una resistencia de armadura para reducir la velocidad del motor
a 1000rpm si la corriente de armaduraes Ia=60A y el flujo se
mantiene constante.

SOLUCION:
La resistencia externa es: 1.11 [Ohmios]
fx >> |

```

## EJERCICIO RESUELTO 2.4.

### CÓDIGO

```

clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('2.4 Un motor de corriente directa en derivación con un voltaje
alimentación de 220V');

```

```

disp('desarrolla un PAR de 45 [N*m] cuando la corriente de armadura Ia absorbe
12 [A].');
fprintf('\nCALCULAR:\n');
disp('El PAR de la maquina cuando la corriente armadura tiene los');
disp('siguientes cambios: 6[A], 8[A], 24[A].');
%SOLUCION
fprintf(' \nSOLUCION:');
%DATOS
T=45;
V1=220;
Ia=12;
%APLICANDO LA FORMULA K=(T/Ia)
K=T/Ia;
%APLICANDO LA FORMULA T=KIa
%CASO1 Ia=6[A]
T1=K*6;
fprintf('\nCuando Ia=6[A], El PAR de la maquina es: %g [N*m]\n',T1);
%CASO2 Ia=8[A]
T2=K*8;
fprintf('\nCuando Ia=8[A], El PAR de la maquina es: %g [N*m]\n',T2);
%CASO3 Ia=24[A]
T3=K*24;
fprintf('\nCuando Ia=24[A], El PAR de la maquina es: %g [N*m]\n',T3);

```

#### PANTALLA

```

Command Window
2.4 Un motor de corriente directa en derivación con un voltaje alimentación de 220V
desarrolla un PAR de 45 [N*m] cuando la corriente de armadura Ia absorbe 12 [A].

CALCULAR:
El PAR de la maquina cuando la corriente armadura tiene los
siguientes cambios: 6[A], 8[A], 24[A].

SOLUCION:
Cuando Ia=6[A], El PAR de la maquina es: 22.5 [N*m]

Cuando Ia=8[A], El PAR de la maquina es: 30 [N*m]

Cuando Ia=24[A], El PAR de la maquina es: 90 [N*m]
fx >> |

```

## PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 2.

2.1. Un generador de corriente continua con conexión en derivación de 50 kw y 250 V tiene una resistencia de circuito de excitación de 62.5 ohmios, con una caída de tensión en las escobillas de 3v y resistencia de inducido de 0,025 ohmios. Calcular, cuando se suministra la corriente nominal a la velocidad y tensión nominal:

- a. las corrientes de carga de excitación y de inducido.
- b. la tensión generada en el inducido

**Respuestas:**

a)

$$I_L = 200 \text{ A}$$

$$I_f = 4 \text{ A}$$

$$I_a = 204 \text{ A}$$

b)

$$E_g = 258.1 \text{ V}$$

2.2. Un generador serie de c.c. de 10kW y 250 V tiene una caída de tensión en las escobillas de 2 V una resistencias del circuito de inducido de 0,1 $\Omega$  y una resistencia de excitación serie de 0,05 $\Omega$ . Cuando suministra la corriente nominal a la velocidad nominal, calcular:

- a. La corriente en el inducido.
- b. La tensión generada en el inducido.

**Respuestas:**

a)

$$I_a = 80 \text{ A}$$

b)

$$E_g = 137 \text{ V}$$

2.3. Un generador compound con derivación larga de 100KW y 600V presenta una caída de tensión en las escobillas de 5V, una resistencia de la excitación serie de 0.02 $\Omega$  y una resistencia de inducido de 0.04 $\Omega$ . Cuando suministra la corriente nominal a la velocidad nominal de 1200 rpm, calcular:

- a. La corriente en el inducido.
- b. La tensión generada en el inducido.

**Respuestas:**

a)

$$I_a = 169.66 \text{ A}$$

b)

$$E_g = 618.69 \text{ V}$$

2.4. Un generador con excitación independiente presenta una tensión en vacío de 125V con una corriente de excitación de 2,1 A cuando se acciona a la velocidad de 1600rpm. suponiendo que está funcionando sobre la parte recta de su curva de saturación, calcular:

- a) La tensión generada cuando la corriente de excitación aumenta hasta 2,6A.
- b) La tensión generada cuando la velocidad se reduce a 1450rpm y la corriente de excitación aumenta hasta 2,8A.

Respuestas:

a)  $E = 154.75 \text{ V}$

b)  $V_f = 151.03 \text{ V}$

2.5. La corriente de excitación derivación de un generador de c.c. de 60kw y 125v ha de elevarse desde 3,5 a 4.0 A para producir un compoundaje normal desde el vacío hasta plena carga, respectivamente. Cada polo de excitación tiene 1500 espiras. Calcular:

- a. El número de espiras de excitación serie por polo, suponiendo una conexión en derivación corta.
- b. repetir el punto (a) suponiendo una conexión en derivación larga

Respuestas:

a)  $N_{\text{corta}} = 1.56 \text{ espiras/polo}$

b)  $N_{\text{larga}} = 1.55 \text{ espiras/polo}$

2.6. Un generador de 30 KW y 250 V produce una tensión generada en el inducido a fin de proporcionar la salida nominal cuando la corriente de excitación es de 1,5 A. Calcular:

- a. La resistencia del circuito de excitación para producir la tensión en bornes nominal
- b. La resistencia del circuito de inducido (despreciese la caída de tensión en las escobillas)

Respuestas:

a)  $R_f = 166.7 \Omega$

b)  $R_a = 2.057 \Omega$



- 2.7. Un generador compound de c.c. de 125 V funciona como generador normal a la velocidad nominal de 1200rpm. Suponiendo que no hay variación en la excitación, discutir el efecto sobre el compoundaje si:
- a. La velocidad aumenta hasta 1500 rpm
  - b. La velocidad se reduce a 1000 rpm.

**Respuestas:**

a)

$$E_{\text{final}} = 156.25 \text{ V}$$

b)

$$E_{\text{final}} = 104.16 \text{ V}$$

**CAPÍTULO 3.**  
**MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO (ASÍNCRONO)**

## Características.

La máquina de inducción trifásica es un transformador que:

- Transforma la energía eléctrica del estator al rotor.
- Cambia de frecuencia.

## Constitución

- Una máquina de inducción está formado por el devanado de armadura y por un devanado del rotor.
- El estator está fabricado de láminas de acero circulares con ranuras.
- El rotor tipo de jaula de ardilla. Consiste en una serie de barras colocadas en ranuras talladas en la cara del rotor y en sus extremos pueda en corto por medio de anillo de corto circuito.
- Se caracterizan por su robustez, sencillez y economía y son las más utilizadas.

## El rotor devanado

- Está provisto con bobinas similares a aquellos del estator.
- El rotor debe bobinarse con el mismo número de polos que el estator.

## Característica

- Una máquina de inducción se alimenta por (CA.) al estator y por inducción (acción transformadora) se induce voltaje en el devanado del motor que esta cortocircuitado y a su vez da origen a un flujo.
- El flujo de armadura ( $\Phi_a$ ) adelanta al flujo de motor ( $\Phi_r$ ), ver Figura 3.1.

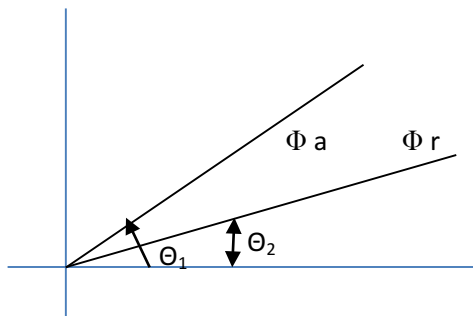


Figura 3.1. Relación entre el flujo de armadura y el flujo de motor.

El flujo de armadura y el flujo de motor gira sincrónicamente, los flujos giran a la misma frecuencia.

- Una máquina de inducción trabaja como transformador de voltaje y también como transformador de frecuencia.
- La máquina de inducción asíncrona requiere que el inducido del estator esté conectado a la alimentación (CA). Por lo tanto en los devanados estatóricos y rotóricos circula corriente alterna (CA.).

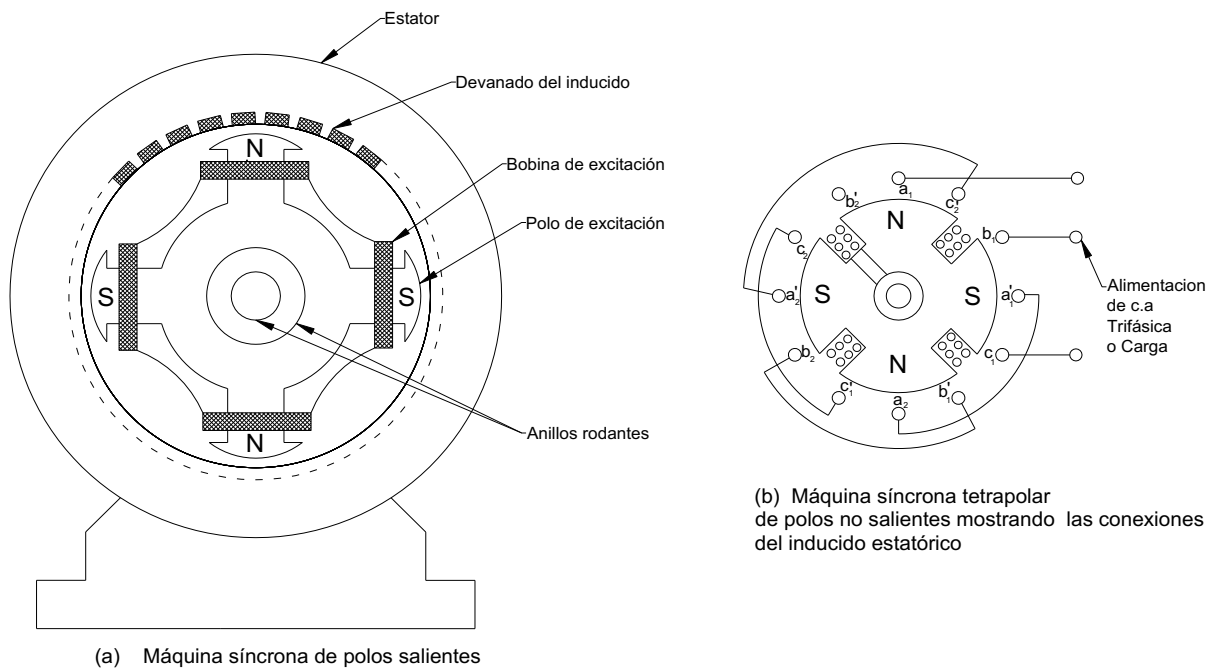


Figura 3.2. Máquina síncrona de inductor móvil.

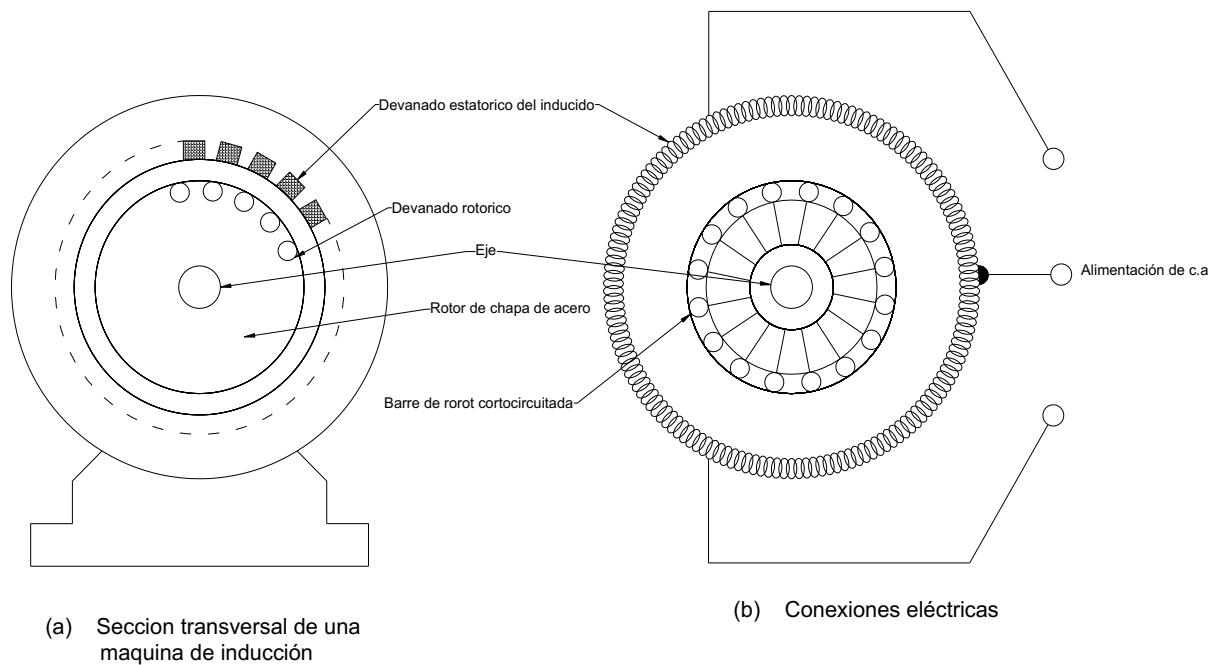


Figura 3.3. Máquina de inducción (Asíncrona)

### Deslizamiento.

El deslizamiento ( $s$ ) es la diferencia de velocidades producidas entre la velocidad del sincronismo entre el campo magnético giratorio y estatórico además están en función de la velocidad de sincronismo ( $N_s$ ) y la velocidad del rotor ( $N$ ).

$$S = \frac{ns - n}{ns}$$

(3.1)

$$fs = \frac{P}{2} fm$$

(3.2)

$$ns = \frac{f \cdot 120}{P}$$

(3.3)

$$n = ns(1 - s)$$

(3.4)

$$fs = \frac{Px \cdot ns}{2 \cdot \epsilon_0}$$

(3.5)

$$n_s = \frac{3600}{\text{\#pares de polos}}$$

**(3.6)**

$$E_{\text{rotor}} = S \cdot E_{\text{estator}} \quad (3.7)$$

$$F_{\text{rotor}} = S \cdot F_{\text{estator}} \quad (3.8)$$

- n**= velocidad de giro del rotor
- ns**= velocidad de giro sincrónico
- s**= deslizamiento  $3\% < S < 10\%$  por unidad
- fm**= frecuencia mecánica
- fs**= frecuencia eléctrica
- E**= tensión del rotor
- fr**= frecuencia del rotor
- fe**= frecuencia del estator.

### Consideraciones

- Si un generador de inducción está en reposo el deslizamiento es ( $S=1$ ) por lo tanto un generador de inducción generara una frecuencia de 60Hz.

$$S=1$$

$$fr = s \cdot fe$$

$$fr = 1 \cdot 60\text{Hz}$$

- Si un generador de inducción se hace a la velocidad del sincronismo en el mismo sentido que el campo magnético giratorio el deslizamiento es cero ( $s=0$ ) y por lo tanto un generador de inducción generara una frecuencia en el rotor de 0Hz.

$$S=0$$

$$fr = 0 \cdot 60\text{Hz}$$

- Si un generador de inducción se hace girara a la misma velocidad de sincronismo en sentido contrario al campo magnético giratorio el deslizamiento es igual a 2 por lo tanto el generador de inducción generara una frecuencia en el rotor de 120Hz.

$$S=2$$

$$fr = 2 \cdot 60\text{Hz}$$

- La frecuencia del rotor aumenta en forma proporcional al deslizamiento.
- En el rotor se produce el campo magnético y se produce una reactancia inducida  $X_{lr}$  y variara según la frecuencia del rotor.
- Para determinar la reactancia del rotor ( $X$ ) se considera en reposo mediante un ensayo al rotor bloqueado.

$$x = S X_{lr}$$

$$(3.9)$$

$$f_r = S E_{lr}$$

$$(3.10)$$

$$R_l = S_b * X_{lr}$$

$$(3.11)$$

$$T_m = \frac{K * V_p^2}{2(S_b * X_{lr})}$$

$$(3.12)$$

$x$  = reactancia del rotor

$x_{lr}$  = reactancia a rotor bloqueado enroscado

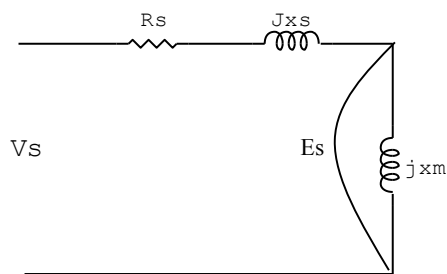
$S_b$  = deslizamiento

$T_m$  = PAR máximo

$V_p$  = tensión

$E_{lr}$  = tensión inducida a rotor bloqueado en reposo

### Circuito equivalente para un motor de inducción



$R_s$  = Resistencia del estator

$X_s$  = Reactancia de dispersión

$E_s$  = FEM del estator

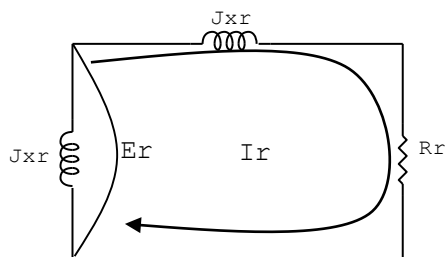
$X_m$  = Reactancia magnetizante

$V_s$  = Voltaje

$$V_s = (R_s + jx_s)I_s + E_s$$

$$(3.13)$$

33



$$E_r = (R_r + jx_r) * I_r$$

$$(3.14)$$

$E_r$  = F.E.M del rotor

$I_r$  = Intensidad de campo

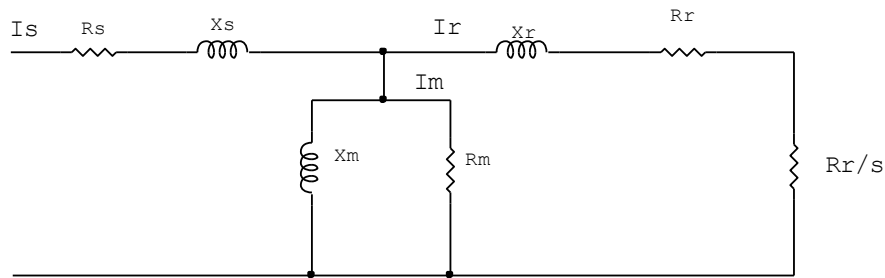
$Jx_r$  = Reactancia de dispersión

$X_m$  = Reactancia magnetizante

$R_r$  = Resistencia del rotor (si el rotor está bloqueado)

En condiciones de reposo  $S=1$  el campo magnético giratorio producido por el estator tiene la misma velocidad con respecto a los devanados del rotor respecto a los devanados de estator, por lo tanto la frecuencia de sincronismo del rotor ( $f_r$ ) es la misma que la frecuencia de las corrientes del estator ( $f_r=f_s$ )

A la velocidad ( $s=0$ ) no hay movimiento relativo entre el campo giratorio y el estator por lo tanto la frecuencia del rotor es igual a 0.



$$I_L = \frac{S \cdot E_2}{\sqrt{R_2^2 + (Sx_1)^2}}$$

(3.15)

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + x^2}}$$

(3.16)

$I_L$  = Corriente del rotor

$E_2$  = FEM inducida en el rotor en reposo

$X_2$  = Reactancia de dispersión del rotor por fase

$R_r$  = Resistencia del rotor por fase

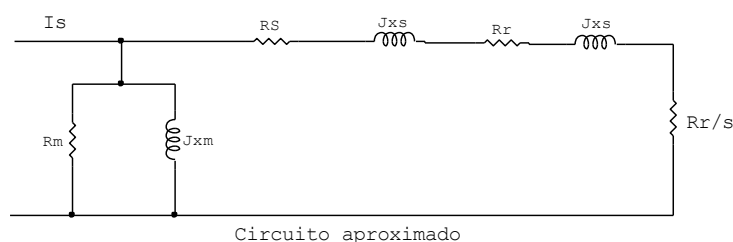
El rotor de inducción puede ser visualizado como una transferencia con un entrehierro que tiene una resistencia variable.

El primario del transformador corresponde al estator del rotor de inducción, mientras que el secundario del transformador corresponde al rotor por fase.

### Parámetros aproximados de circuito equivalente a partir de datos de prueba.

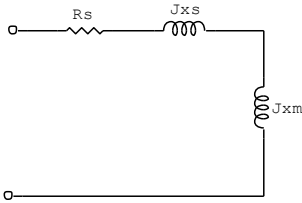
Algunas veces el circuito equivalente del motor de inducción se obtiene de manera aproximada y puede obtenerse a partir de dos pruebas siguientes:

- Prueba sin carga.
- Prueba a rotor bloqueado.





### Prueba sin carga (vacío).



En esta prueba se aplica el voltaje nominal en la máquina y se permite que funcione sin carga, se mide la potencia de entrada omitiendo las pérdidas por fricción y ventilación, el voltaje y la corriente están inducidas a valores por fases, se anota (la potencia, el voltaje y la corriente), cuando la maquina trabaja sin carga. El deslizamiento de tienda a ser cero  $s \rightarrow 0$  el circuito de la figura por la derecha de la rama en paralelo se forma un circuito abierto.

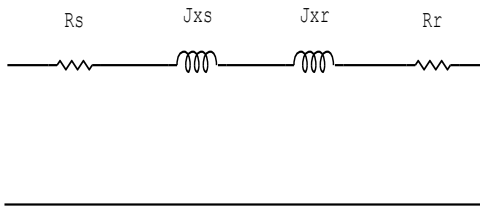
$$R_m = \frac{V^2}{P}$$

(3.17)

$$X_m = \frac{V^2}{\sqrt{V^2 s^2 - P^2}}$$

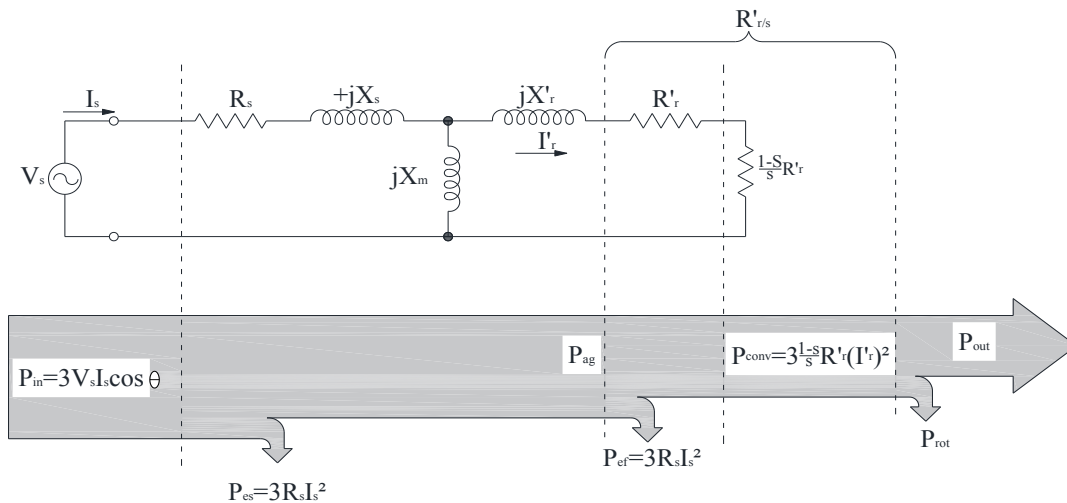
(3.18)

### Prueba a rotor bloqueado.



En esta prueba se bloquea el rotor de la maquina ( $S=1$ ) y se aplica un voltaje reducido de manera que la corriente nominal fluya a través de sus devanados del estator, se requiere la potencia de entrada, el voltaje y la corriente se reduce a valores por fase.

### Diagrama de potencia.



Una parte muy importante en el estado del comportamiento del motor es el diagrama de potencia del sistema trifásico.

➤ En plantea el circuito equivalente monofásico se puede representar el diagrama de flujo de potencia.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{int}} * 100 \quad (3.19)$$

$$\tau = \frac{P_{fe}}{W_s} \quad (3.21)$$

$$P_{covn} = (1 - s)P_{fe} \quad (3.23)$$

$$\tau = \left(\frac{1-s}{W_r}\right) P_{fe} \quad (3.20)$$

$$P_{fe} = P_{covn} - P_{cu} \quad (3.22)$$

$$P_{out} = P_{covn} - P_m \quad (3.24)$$

**Pin** = potencia de entrada  
**Ps** = perdida de cobre en el estator  
**Pfe** = potencia entre hierro  
**Pcur** = perdida en el cobre del rotor  
**Pcovn** = perdida de conversión  
**Prot** = perdidas rotoricas  
**Pout** = potencia de salida  
**Is** = corriente de fase RMS (estator)  
**Vs** = voltaje de fase RMS (estator)  
**Cos θ** = factor de potencia  
**Wr** = velocidad angular del rotor  
**Ws** = Velocidad angular de sincronismo

### PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 3.

**3.1. Una máquina que funciona a 60Hz y que tiene 2 polos; encontrar la velocidad de sincronismo.**

**Datos**

$$ns = \frac{f \cdot 120}{P} \qquad ns = \frac{3600}{\text{\#pares de polos}}$$

$$f = 60\text{Hz} \qquad ns = \frac{60 \cdot 120}{2} \qquad ns = \frac{3600}{1}$$

$$P = 2 \text{ polos}$$

$$ns = 3600\text{rpm} \text{ R//} \qquad ns = 3600\text{rpm} \text{ R//}$$

**3.2. Hallar el deslizamiento para una maquina cuya velocidad nominal es de 1140 rpm que opera a 60Hz y tiene 4 polos.**

$$ns = \frac{3600}{\text{\#pares de polos}} \qquad S = \frac{ns - n}{ns}$$

$$ns = \frac{3600}{2} \qquad S = \frac{1800 - 1140}{1800}$$

$$ns = 1800\text{rpm} \text{ R//} \qquad S = 0.366 \text{ R//}$$

**3.3. Un motor de rotor tetra-polar que funciona a 60Hz tiene un deslizamiento del rotor a plena carga al 5% calcular la frecuencia del rotor.**

- a) En el momento de arranque
- b) a plena carga

$$fr = S \cdot f \qquad fr = S \cdot f$$

$$fr = 1 \cdot 60\text{Hz} \qquad fr = 0.05 (60\text{Hz})$$

$$fr = 60\text{Hz} \text{ R//} \qquad fr = 3\text{Hz} \text{ R//}$$

**3.4. Un SCIM de 8 polos y 60hz es cargado de liberadamente hasta un punto en que presenta la perdida de estabilidad (PAR aplicado superior al PAR máximo) La resistencia rotorica por fase es de 0.3Ω y el motor se hace inestable a 650rpm. Calcular:**

- a) El deslizamiento
- b) La reactancia a rotor bloqueado (reactancia en reposo)
- c) La frecuencia del rotor en el punto de ida.

$$ns = \frac{f \cdot 120}{P} \qquad s = \frac{ns - n}{ns} \qquad X = S \cdot X_{lr} \qquad f_r = S \cdot f$$

$$ns = \frac{60(120)}{8} \qquad s = \frac{900 - 650}{900} \qquad X_{lr} = \frac{x}{S} \qquad f_r = (0.278)(60)$$

$$ns = 900\text{rpm R//} \quad s = 0.278 \text{ R//} \quad X_{lr} = \frac{0.3}{0.278} \quad f_r = 16.8\text{Hz R//}$$

$$X_{lr} = 1.08\Omega \text{ R//}$$

## EJERCICIOS DE MATLAB DEL CAPITULO 3.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA LA SOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB.

### EJERCICIO RESUELTO 3.1.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('3.1. Una máquina que opera a 60Hz y que tiene 2 polos.');
```

fprintf('\nENCONTRAR:\n');

```
disp('La velocidad de sincronismo.');
```

%SOLUCION

```
fprintf( '\nSOLUCION:');
```

%DATOS

```
f=60;
P=2;
%APLICANDO LA FORMULA ns=(f*120)/P
ns1=(f*120)/P;
fprintf('\nUtilizando el numero de polos, La velocidad de sincronismo es: %g
[RPM]\n',ns1);
%APLICANDO LA FORMULA ns=3600/(#pares de polos)
ns2=3600/(P/2);
fprintf('\nUtilizando el numero de pares de polos, La velocidad de sincronismo
es: %g [RPM]\n',ns2);
```

#### PANTALLA

```
Command Window
3.1. Una máquina que opera a 60Hz y que tiene 2 polos.

ENCONTRAR:
La velocidad de sincronismo.

SOLUCION:
Utilizando el numero de polos, La velocidad de sincronismo es: 3600 [RPM]

Utilizando el numero de pares de polos, La velocidad de sincronismo es: 3600 [RPM]
fx >> |
```

### EJERCICIO RESUELTO 3.2.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('3.2 Hallar el deslizamiento para una maquina cuya velocidad nominal');
fprintf('\n es de 1140 rpm que opera a 60Hz y tiene 4 polos.\n');
%SOLUCION
fprintf( '\nSOLUCION:');
%DATOS
f=60;
P=4;
n=1140;
%APLICANDO LA FORMULA ns=3600/(#pares de polos)
ns=3600/(P/2);
%APLICANDO LA FORMULA S=(ns-n)/ns
S=(ns-n)/ns;
fprintf('\nEl deslizamiento es: %4.3g \n',S);
```

#### PANTALLA

3.2 Hallar el deslizamiento para una maquina cuya velocidad nominal

es de 1140 rpm que opera a 60Hz y tiene 4 polos.

SOLUCION:

El deslizamiento es: 0.367

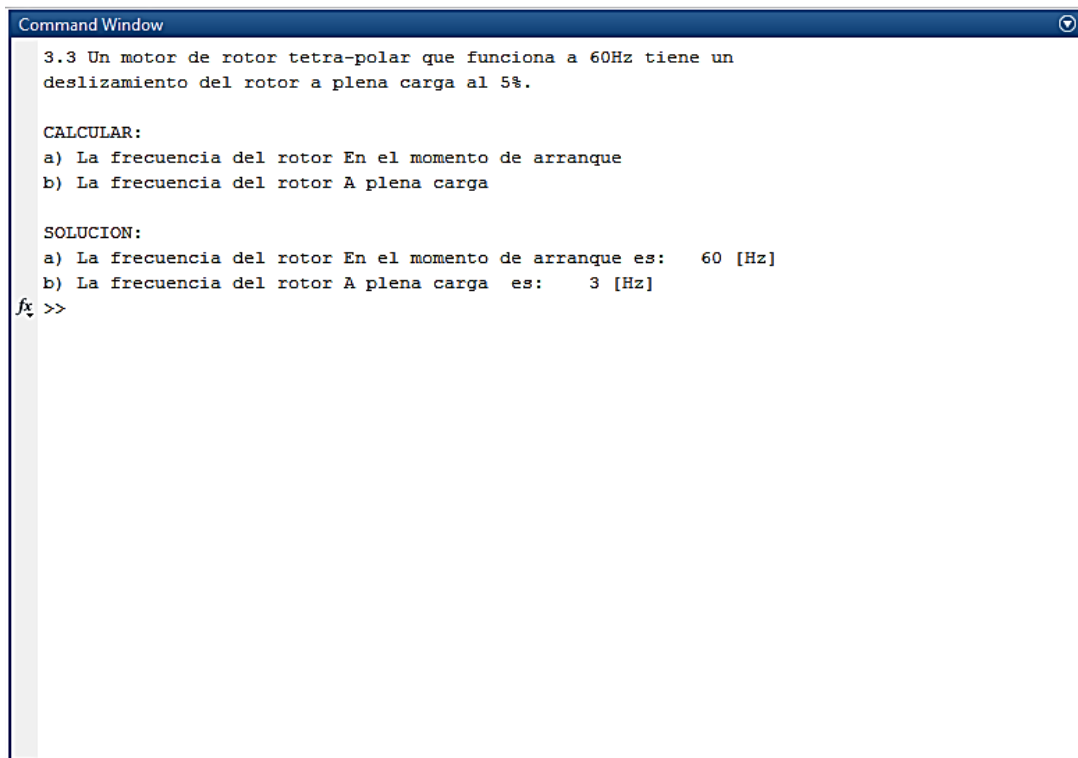
$f_x$  >>

### EJERCICIO RESUELTO 3.3.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('3.3 Un motor de rotor tetra-polar que funciona a 60Hz tiene un');
disp('deslizamiento del rotor a plena carga al 5%.');
fprintf( '\nCALCULAR:\n');
disp('a) La frecuencia del rotor En el momento de arranque');
disp('b) La frecuencia del rotor A plena carga');
%SOLUCION
fprintf( '\nSOLUCION:');
%DATOS
f=60;
S0=1;
Sf=0.05;
%APLICANDO LA FORMULA fr= S*f
fr1= S0*f;
fprintf('\na) La frecuencia del rotor En el momento de arranque es: %4.3g
[Hz]',fr1);
%APLICANDO LA FORMULA fr= S*f
fr2= Sf*f;
fprintf('\nb) La frecuencia del rotor A plena carga es: %4.3g [Hz] \n',fr2);
```

#### PANTALLA



```
Command Window
3.3 Un motor de rotor tetra-polar que funciona a 60Hz tiene un
deslizamiento del rotor a plena carga al 5%.

CALCULAR:
a) La frecuencia del rotor En el momento de arranque
b) La frecuencia del rotor A plena carga

SOLUCION:
a) La frecuencia del rotor En el momento de arranque es: 60 [Hz]
b) La frecuencia del rotor A plena carga es: 3 [Hz]
fx >>
```

### EJERCICIO RESUELTO 3.4.

#### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('3.4. Un SCIM de 8 polos y 60hz es cargado de liberadamente hasta un');
disp('punto en que presenta la perdida de estabilidad (PAR aplicado superior
al PAR máximo)');
disp('La resistencia rotorica por fase es de 0.3? y el motor se hace inestable
a 650rpm.');
```

fprintf( '\nCALCULAR:\n');

```
disp('a) El deslizamiento');
disp('b) La reactancia a rotor bloqueado (reactancia en reposo)');
disp('c) La frecuencia del rotor en el punto de ida.');
```

%SOLUCION

```
fprintf( '\nSOLUCION:');
```

%DATOS

```
f=60;
P=8;
Rx=0.3;
n=650;
%APLICANDO LA FORMULA ns=(f*120)/P
ns=(f*120)/P;
%APLICANDO LA FORMULA S=(ns-n)/ns
S=(ns-n)/ns;
fprintf('\na) El deslizamiento es: %4.3g',S);
%APLICANDO LA FORMULA Xr=Rx/S
Xr=Rx/S;
fprintf('\nb) La reactancia a rotor bloqueado (reactancia en reposo) es: %4.3g
[Ohmios]',Xr);
%APLICANDO LA FORMULA fr=S*f
fr=S*f;
fprintf('\nc) La frecuencia del rotor en el punto de ida es: %4.3g
[Hz]\n',fr);
```



## PANTALLA

```
Command Window
3.4. Un SCIM de 8 polos y 60hz es cargado de liberadamente hasta un
punto en que presenta la perdida de estabilidad (PAR aplicado superior al PAR máximo)
La resistencia rotorica por fase es de 0.3? y el motor se hace inestable a 650rpm.

CALCULAR:
a) El deslizamiento
b) La reactancia a rotor bloqueado (reactancia en reposo)
c) La frecuencia del rotor en el punto de ida.

SOLUCION:
a) El deslizamiento es: 0.278
b) La reactancia a rotor bloqueado (reactancia en reposo) es: 1.08 [Ohmios]
c) La frecuencia del rotor en el punto de ida es: 16.7 [Hz]
fx >>
```

### PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 3.

3.1. El rotor de un motor trifásico de inducción de 60hz, 4 polos, consume 120Kw a 3Hz. Calcular:

- a) La velocidad del rotor
- b) La pérdida de cobre en el rotor

| <u>Respuestas:</u> |                        |
|--------------------|------------------------|
| a)                 | n = 1710 rpm           |
| b)                 | P <sub>cu</sub> = 6 Kw |

3.2. Un motor trifásico de inducción de 4 polos es energizado por una fuente de 60Hz se encuentra trabajando en condiciones de carga tales que el deslizamiento es 0.03. Calcular:

- a) La velocidad del rotor en rpm
- b) La frecuencia de corriente de rotor en Hz
- c) La velocidad e campo magnético giratorio del rotor respectivo a la armadura del estator en rpm. En condiciones de reposo

| <u>Respuestas:</u> |                         |
|--------------------|-------------------------|
| a)                 | n = 1746 rpm            |
| b)                 | f <sub>r</sub> = 1.8 Hz |
| c)                 | n = 0 rpm               |

3.3. Un generador tipo PM de C.C, 240V y 40A, está especificado para una velocidad de 2000RPM. La resistencia del devanado de la armadura es de 0.4Ω. La pérdida por rotación es de 10% de la potencia que desarrolla, el generador a plena carga, si el generador opera en la zona lineal. Determinar:

- a) El voltaje sin carga
- b) La regulación de voltaje
- c) El torque aplicado y

| <u>Respuestas:</u> |                           |
|--------------------|---------------------------|
| a)                 | E <sub>a</sub> = 256 V    |
| b)                 | R <sub>v</sub> % = 6.67 % |
| c)                 | T = 53.78 N m             |

3.4. Un motor de inducción trifásica, 8 polos, 600V, 60Hz, presenta los siguientes parámetros por fase

$$r_1 = 0.75\Omega \quad x_1 = x'_2 = 5\Omega$$

$$r'_2 = 0.85\Omega \quad x_m = 80\Omega$$

- a) Calcular para  $S=5\%$ ,  $I$ ,  $P_o$ ,  $n\%$ ,  $T$  despreciando las perdidas  
 b) Para  $S=5\%$ , en que rango debe cambiar la frecuencia para una velocidad mínima de 600RPM y para esa condición encontrar  $I$ ,  $P_o$ ,  $n\%$ ,  $T$  despreciando la perdidas

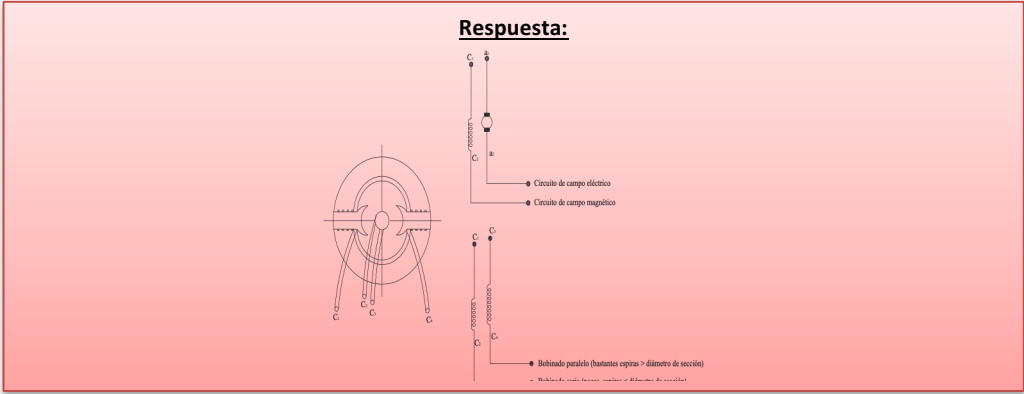
**Respuestas:**  
 a)  $T = 141.54 \text{ N m}$   
 c)  $T = 80.27 \text{ N m}$

3.5. Motor de inducción trifásico, jaula de ardilla, 4 polos, 125kW, 60Hz, Y, 2300V tiene una resistencia entre 2 bobinas del estator de  $2.23 \Omega$ , en vacío:  $I=7.7A$  y  $P=2870W$ .

Rotor bloqueado

$V=268V$   
 $I=50.3A$   
 $P=18.2kW$   
 $P_r=2W$

Encontrar el circuito equivalente



**CAPITULO 4.  
MAQUINAS SÍNCRONAS**

## Introducción.

La mayoría de la potencia eléctrica empleada en el mundo es generada mediante las máquinas sincrónicas movidas por turbinas a vapor, turbinas de combustión o por turbinas hidráulicas.

Cuando se utilizan máquinas eléctricas en régimen de motor, el motor de inducción predomina sobre el motor síncrono esto es cuando se convierte energía eléctrica para la conversión de energía mecánica, en la mayoría de las centrales y subestaciones eléctricas es muy empleado el generador síncrono.

Los generadores sincrónicos son la principal fuente de energía eléctrica en los sistemas de potencia, y muchas cargas pesadas son accionadas por motores sincrónicos. Los condensadores sincrónicos son a veces usados para compensar potencia reactiva y control de voltaje.

En la figura 4.1 se puede visualizar las partes principales de una máquina síncrona trifásica con un par de polos en el campo. La máquina consta de dos devanados principales, el de campo y el de armadura. El devanado de campo es alimentado con una fuente de corriente alterna en el devanado de armadura, una vez que el campo o la armadura este en movimiento.

Se debe tener en cuenta que una máquina síncrona es una máquina doblemente excitada, ya que el devanado de armadura se conecta a una fuente de alimentación de C.A y el devanado de campo se conecta a una fuente de C.C el devanado de armadura de una máquina síncrona es similar al devanado del estator de un motor de inducción trifásico, en donde se tienen tres devanados colocados a  $120^\circ$  eléctricos uno del otro. La diferencia con esta máquina está en el rotor.

La principal ventaja de las máquinas sincrónicas respecto de los demás tipos de máquinas es que puede operar con un factor de potencia unitario, factor de potencia en adelanto o un factor de potencia en atraso, únicamente manipulando la corriente del devanado de campo.

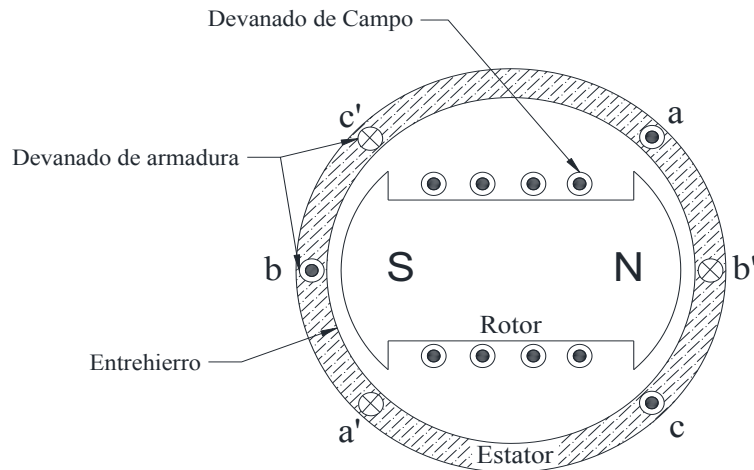


Figura 4.1 Partes de una maquina síncrona trifásica

## 4.2 Clasificación y construcción física.

-El devanado de campo de una maquina síncrona requiere de una fuente de corriente continua (C.C), para crear el campo magnético controlado mediante la fuente de alimentación.

-También este campo magnético puede provenir de un imán permanente, pero se presenta un inconveniente de que no se tiene un control independiente del campo.

-Se tiene una tercera opción para la fuente de corriente continua (C.C) , es aprovechar el voltaje inducido en el devanado del rotor y rectificarlo para luego aplicarlo a los devanados de campo. La máquina síncrona tiene dos partes muy importante que son el estator y rotor

### 4.2.1 Estator.

En el estator se tiene un devanado de estator (devanado de armadura) es similar al devanado de una máquina de inducción y se conecta a una fuente trifásica ya sea como motor o generador.

La velocidad del campo magnético de la armadura se calcula de la misma manera que en una máquina de inducción:

$$n_{sin} = \frac{120f}{p} \quad (4.1)$$

En donde:

$n_{sin}$  = velocidad síncrona en revoluciones por minutos (RPM)

$f$  = frecuencia de la red en Hz

$p$  = número de polos.

-La amplitud del campo magnético del estator es constante y similar a la máquina de inducción.

-La forma de la onda será similar si la reluctancia en la periferia del entrehierro es constante.

### **Rotor.**

-En el rotor se tiene un devanado rotorico (devanado de campo) que es alimentado por una fuente de corriente continua (C.C.).

-Dependiendo de la velocidad de la maquina síncrona se tiene dos tipos de rotores: los rotores de polos lisos o de alta velocidad y de polos salientes o de baja velocidad.

-Se debe considerar que las turbinas hidráulicas operan en baja velocidad, por lo tanto se requiera un mayor número de polos para proporcionar la frecuencia nominal.

-Estos rotores normalmente son de tipos polos salientes pero se tiene un problema de que la reluctancia en la periferia del entrehierro no es uniforme; este problema se puede resolver colocando un devanado de amortiguamiento en forma de barras de cobre en cortocircuito alrededor del rotor, similar a la de jaula de ardilla en una máquina de inducción, como se muestra en la figura 4.2. La forma de este rotor es de gran longitud, pero de un diámetro pequeño.

- También se debe tener en cuenta que las turbinas de vapor y de gas operan a una alta velocidad por lo que estas máquinas tienen rotores lisos con dos o cuatro polos; este tipo de rotores no requieren devanado de amortiguamiento como el de los polos salientes.

-Según la figura 4.3 se muestra el diagrama de este rotor. Si no se toman en cuenta las ranuras en las periferias del rotor, se puede considerar como constante

la reluctancia en el entrehierro. La forma de este rotor es corta pero de gran diámetro.

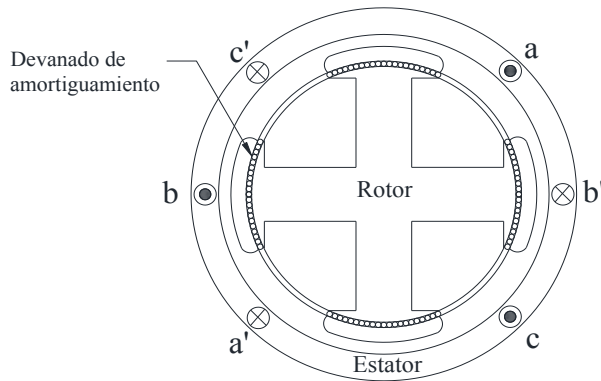


Figura 4.2

Rotor tipo polo saliente con devanado de amortiguamiento.

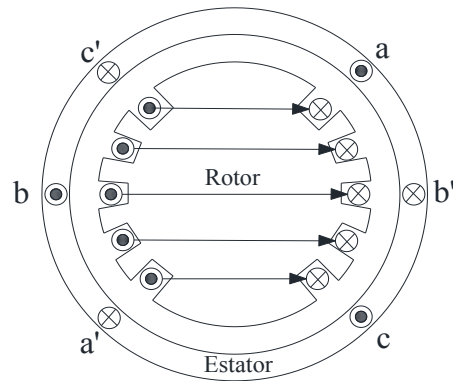


Figura 4.3

Rotor tipo polo liso.

### Circuito equivalente de la maquina síncrona.

Para obtener el modelo del circuito de la maquina síncrona se considera que es de rotor tipo polo liso, el voltaje  $E_a$  es el voltaje en las terminales de la armadura, el voltaje  $V_\phi$  es el voltaje de fase que se convertirá en el voltaje de terminal dependiendo de la conexión de la maquina (estrella o delta) y la reactancia sincrónica  $X_s$  es la suma de la reactancia de magnetización  $X_m$  y la reactancia de dispersión o de fuga  $X_d$ :

$$X_\square = X_m + X_d \quad (4.2)$$

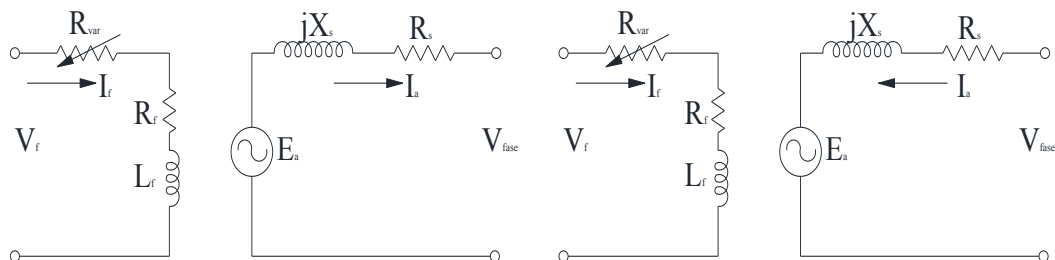


Figura 4.4. Circuito equivalente de esta máquina.



Como se puede observar en la Figura 4.4 ambos circuitos equivalentes monofásicos son similares, la única diferencia es el sentido de la corriente de armadura. En el circuito de campo se forma un electroimán ya que la fuente  $V_f$  es de corriente directa, sin embargo se tiene un control de voltaje aplicado al campo por medio de la resistencia variable externa ( $R_{var}$ ). Para el análisis de este circuito equivalente es suficiente un circuito monofásico que si se requiere un análisis trifásico esto se repite 3 veces, como se puede observar en la Figura 4.5.

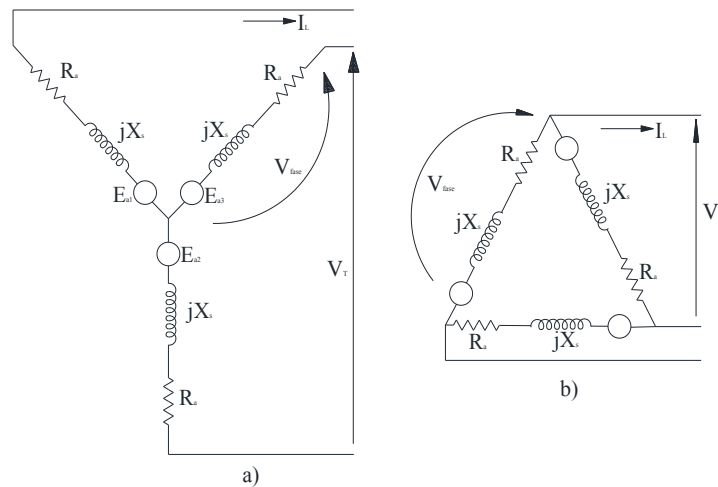


Figura 4. 5. Circuito equivalente trifásica de la maquina síncrona a) conexión estrella b) conexión delta.

En el circuito equivalente de la Figura 4.4 se puede observar que las ecuaciones de la maquina síncrona son:

$$V_{\phi} = E_a - I_a(R_a + jX_s) \quad (4.3)$$

Para el generador síncrono:

$$V_{\phi} = E_a + I_a(R_a + jX_s) \quad (4.5)$$

Para el motor síncrono. Para el campo se tiene la ecuación:

$$I_f = \frac{V_f}{R_f + R_{var}} \quad (4.6)$$

En las conexiones estrellas las corrientes de fase y de línea son las mismas, y el voltaje de línea es mayor en  $\sqrt{3}$  veces que el voltaje de fase. Para una conexión

delta los voltajes de la fase y de la línea son iguales, pero la corriente de línea es mayor en  $\sqrt{3}$  veces a la corriente de fase.

### **Determinación de la reactancia síncrona.**

Existe una relación directa entre las ecuaciones de la armadura y de campo que permite determinar la reactancia síncrona de esta máquina; son la prueba de vacío y la de cortocircuito.

### **Prueba de circuito abierto.**

Esta prueba se realiza cuando la maquina esta en vacío por lo que la corriente  $I_a = 0$  y con esto se asegura que  $E_a = V_\phi$ . El procedimiento es llevar la maquina a la velocidad síncrona, y posteriormente se excita la corriente de campo desde cero hasta la condición nominal. La curva que se obtiene en esta prueba se puede observar en la Figura 4.6 (circuito abierto); la primera parte de esta prueba es prácticamente lineal y la segunda parte nos muestra la región de saturación de la máquina. Cuando se tiene una corriente de campo cero, el voltaje generado  $E_a$  no es precisamente cero como se muestra en la Figura 4.6 ya que debido al flujo remanente puede aparecer un voltaje ligeramente mayor a cero voltios. La grafica de la línea del entrehierro es el voltaje generado sin saturación magnética.

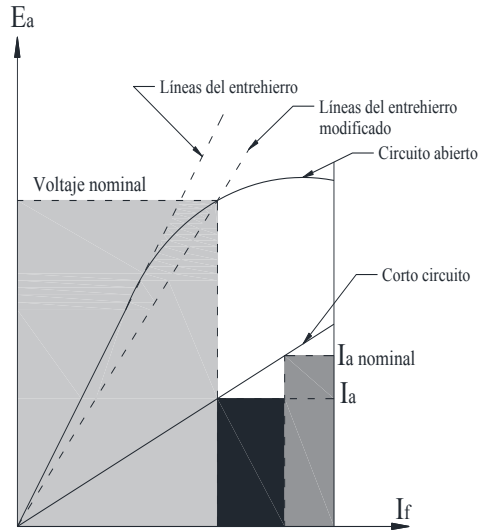


Figura 4.6. Prueba de cortocircuito y circuito abierto de una máquina síncrona.

### Prueba de corto circuito.

El procedimiento que se lleva a cabo para esta prueba es parecido a la de prueba en vacío; primero se conectan las terminales de las máquinas en cortocircuito y un amperímetro para medir la corriente de cortocircuito de la armadura, luego se lleva la máquina a su velocidad síncrona, posteriormente se empieza a variar la corriente de campo hasta alcanzar la corriente nominal en la armadura; la curva que se obtiene de la variación de estos parámetros se muestra en la figura 4.6 (cortocircuito). Como se puede observar en esta prueba, no se tiene una saturación magnética como en la prueba de vacío.

### Reactancia síncrona saturada.

La reactancia síncrona saturada se calcula a partir de las mediciones hechas en la prueba de vacío y cortocircuito mediante la siguiente expresión:

$$Z_{s(sat)} = \frac{\text{Voltaje nominal de circuito abierto}}{\text{corriente de cortocircuito}} = R_a + jX_{s(sat)} \quad (4.7)$$

Sin tomar en cuenta  $R_a$  se tiene que:

$$X_{s(sat)} = \frac{\text{Voltaje nominal de circuito abierto}}{\text{corriente de cortocircuito}} \quad (4.8)$$

### Reactancia síncrona no saturada.

La reactancia síncrona no saturada se obtiene de la forma similar a la anterior utilizando la expresión:

$$Z_{s(no\ sat)} = \frac{\text{Voltaje del entrehierro}}{\text{Corriente de cortocircuito}} = R_a + jX_{s(no\ sat)} \quad (4,9)$$

Sin tomar en cuenta  $R_a$  se tiene que:

$$Z_{s(no\ sat)} = \frac{\text{Voltaje del entrehierro}}{\text{Corriente de cortocircuito}} \quad (4.10)$$

### Bus infinito.

Un generador síncrono normalmente no trabaja de forma aislada, sino que lo hace interconectado con otros generadores de energía, y a esta conexión de generadores se le conoce como bus infinito ya que los parámetros de voltaje y frecuencia que se maneja en este bus no sufren las variaciones significativas cuando una o varias cargas son conectadas

### Conexión a una red trifásica.

Un generador síncrono debe reunir varias condiciones para que se pueda conectar a un bus infinito, ya estas son las siguientes:

- a) El mismo nivel de voltaje que el bus infinito.
- b) La misma frecuencia.
- c) La misma secuencia de base.
- d) El mismo desfaseamiento.

Para conectar un generador síncrono a un bus infinito se puede utilizar el método clásico de las lámparas, cuya conexión se muestra en la figura 4.7. Se conectan 3 lámparas, una en cada fase. Estas lámparas tienen un comportamiento muy peculiar ya que se supone que cuando el voltaje es cero entre sus terminales deben apagarse, sin embargo en lugar de estos empiezan a parpadear simulando una luz que gira. Si las tres lámparas encienden y apagan al mismo tiempo, significa que dos de las fases están en la posición incorrecta por lo que hay que invertirla. Si la luz emitida por las lámparas gira, se deben de hacer los ajustes necesarios sobre la frecuencia y el voltaje para que dos de ellas apaguen el mismo tiempo y la otra encienda; cuando se cumple esta condición es momento de cerrar el interruptor del acople en paralelo

El proceso de sincronización de un generador a la red, en un sistema de potencia, se realiza de forma automática con una computadora que monitorea las señales enviadas por los sensores instalados en la máquina.

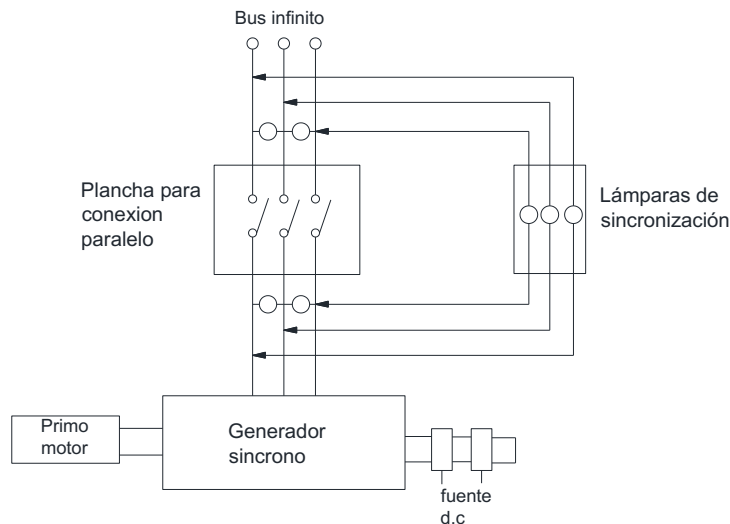


Figura 4.7 Conexión en paralelo de un generador síncrono.

### Generador aislado.

Cuando el generador síncrono opera de forma aislada suministra una carga limitada, y puede tener variaciones de voltaje en los terminales dependiendo de las cargas que se conecte, inclusive pequeñas variaciones de frecuencia si no se ajusta correctamente la velocidad del primo motor, lo que sucede cuando se conecta a un bus infinito.

Las principales variaciones que hay que vigilar en esta máquina son las del voltaje en las terminales, ya que cuando se le conectan cargas con un factor de potencia unitaria en atraso el voltaje en los terminales cae ligeramente y cuando se le agrega carga con un factor de potencia en adelanto el voltaje de los terminales aumenta

### Potencia y par.

La potencia par de salida que nos proporcionan las máquinas síncronas, ya sea de forma eléctrica para el caso del generador o de forma mecánica en el motor,

se deben de analizar con respecto a la potencia de entrada y las pérdidas que tienen estas máquinas:

$$P = 3V_{\phi}I_{\phi} \cos \theta = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (4.11)$$

$$P = 3V_{\phi}I_{\phi} \sin \theta = \sqrt{3}V_L I_L \sin \theta \quad (4.12)$$

$$S = 3V_{\phi}I_{\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \quad (4.13)$$

En donde P es la potencia real en watts, Q es la potencia reactiva en VAR, es la potencia reactiva en VA,  $V_{\phi}$  es el voltaje de fase,  $I_{\phi}$  es la corriente de fase,  $V_L$  es el voltaje de línea y  $I_L$  es la corriente de línea.

El par en esta máquina se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$P = \tau \omega_{sin} \quad (4.14)$$

En donde  $\tau$  es el par de la maquina en Newton-metro y  $\omega_{sin}$  es la velocidad síncrona de la maquina en radianes/segundos

Tomando en cuenta las pérdidas que tiene la maquina síncrona (perdidas en el cobre, perdidas en el núcleo, perdidas por fricción y ventilación- perdidas mecánicas- y las perdidas adicionales) se puede calcular la eficiencia de maquina como

$$\eta = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} \quad (4.15)$$

O como:

$$\eta = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada+pérdidas}} \quad (4.16)$$

La regulación de voltaje de la maquina es:

$$V_R = \frac{V_{lv} - V_{lpc}}{V_{lpc}} \quad (4.17)$$

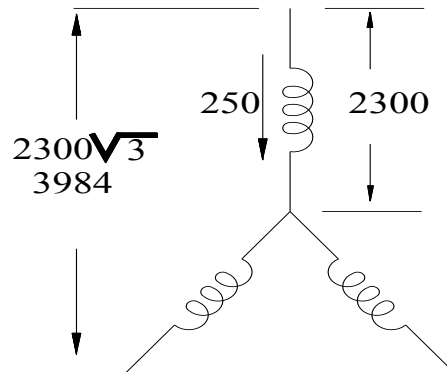
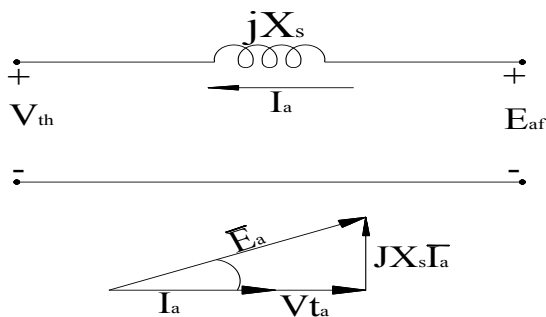
En donde  $V_{lv}$  es el voltaje en vacío de la máquina y  $V_{lpc}$  es el voltaje a plena carga de la máquina.

## PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 4.

4.1. Las bobinas de un generador síncrono 3φ, 2 polos, pueden soportar 2300 V y 250A si presentan una  $X_s=2\Omega$ , comparan los valores de  $V_{TH}$ ,  $E_{af}$ ,  $P_d$ ,  $R\%$ ,  $T$  y  $4\%$  si se conectan en Y y  $\Delta$  para generar 60Hz a un factor de potencia igual a 1

Solución

Para la conexión Y



$$\bar{V}_{ta} = 2300 \angle 0$$

$$\bar{I}_a = 250 \angle 0$$

$$\bar{V}_{ta} + \bar{I}_a j X_s = \bar{E}_{af}$$

$$\bar{E}_{af} = 2300 + j500 = 2353.72 \angle 12.265^\circ \text{ R//}$$

$$\delta = 12.265^\circ \text{ R//}$$

$$P_d = 3 \frac{V_{ta} E_{af}}{X_s} \sin \delta = 3 V_{ta} I_a \cos \theta$$

$$P_d = \frac{3 \cdot 2300 \cdot 2353.72}{2} * \sin 12.265 = 1725 \text{ kW R//}$$

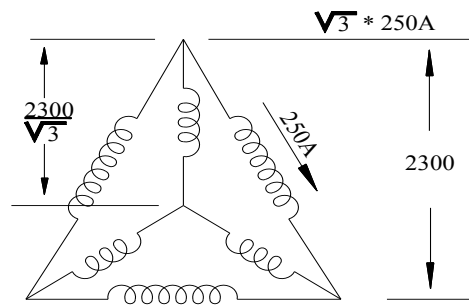
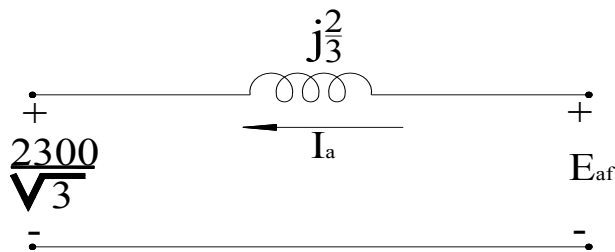
$$n_s = \frac{120 * f}{P} = \frac{120 * 60}{4} = 3600 \text{ rpm R//}$$

$$w_s = \frac{3600 \cdot 2\pi}{60} = 120\pi \text{ R//}$$

$$T = \frac{1725 \cdot 10^3}{120\pi} = 4575.7 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ R//}$$

$$R\% = \frac{E_{af} - V_{ta}}{V_{ta}} \cdot 100 = 2.34\% \text{ R//}$$

### Conexión en $\Delta$



$$\bar{V}_{ta} = \frac{2300}{\sqrt{3}} \angle 0 = 1327.9 \text{ V} \text{ R//}$$

$$\bar{I}_a = \sqrt{3} \cdot 250 = 433 \text{ A} \text{ R//}$$

$$\bar{E}_{af} = \bar{V}_{ta} + \bar{I}_a j X_s$$

$$\bar{E}_{af} = \frac{2300}{\sqrt{3}} + j 4.33 \cdot \frac{2}{3}$$

$$\bar{E}_{af} = 1327.9 + j 288.67 = 1358.9 \angle 12.26^\circ \text{ R//}$$

$$\delta = 12.26^\circ \text{ R//}$$

$$P_d = 3 \frac{V_{ta} E_{af}}{X_s} \sin \delta$$

$$P_d = \frac{3 \cdot 1327.9 \cdot 1358.9}{2/3} \cdot \sin 12.26$$

$$P_d = 1724.94 \text{ kW} \text{ R//}$$



$$T = \frac{1724 \cdot 10^3}{120\pi} = 4575.55 N \cdot m \text{ R//}$$

$$R\% = \frac{E_{af} - V_{ta}}{V_{ta}} = \frac{1358.9 - 1327.9}{1327.9} * 100 = 2.33\% \text{ R//}$$

Un generador sincrónico de polos salientes 3φ, 25kVA, Y, 60Hz 440V, 36 polos alimenta el 80% de la carga nominal a un factor de potencia igual a 0.8 en atraso. Si  $X_d=4.1\Omega/\text{fase}$  y  $X_q=2\Omega/\text{fase}$ . Calcular:

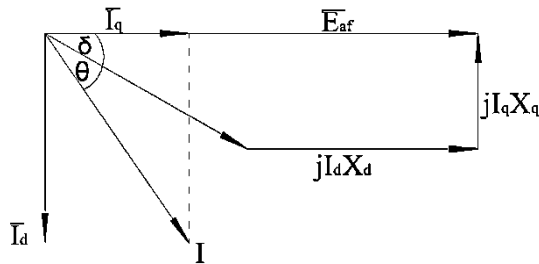
a) La velocidad en RPM

b)  $P_d$ ,  $T$ ,  $R\%$

**Solución**

$$a) n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot 60}{36} = 200 \text{ rpm R//}$$

b)



$$\bar{V}_{ta} = \frac{440}{\sqrt{3}} \angle \delta = 254 \angle \delta$$

$$\bar{I} = 0.8 * \frac{25000}{\sqrt{3} * 440}$$

$$\bar{I} = 26.243 \angle \theta + \delta$$

$$\theta = 36.37^\circ \text{ R//}$$

$$I_q = I_a \cos(\theta + \delta)$$

$$I_d = I_a \sin(\theta + \delta)$$

$$V_{ta} \sin \delta = I_q X_q = I_q X_d \cos(\theta + \delta)$$

$$V_{ta} \sin \delta = X_q I_a (\cos \theta \cos \delta - \sin \theta \sin \delta)$$

$$V_{ta} \sin \delta = X_q I_a \cos \theta \cos \delta - X_q I_a \sin \theta \sin \delta$$

$$\sin \delta (V_{ta} + X_q I_a \sin \theta) = X_q I_a \cos \theta \cos \delta$$

$$\frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \frac{X_q I_a \cos \theta}{V_{ta} + X_q I_a \sin \theta} = \tan \delta$$

$$\tan \delta = \frac{2 * 26.243 * 0.8}{\frac{440}{\sqrt{3}} + 2 * 26.243 \sin 36.37^\circ} = 0.147 \text{ R//}$$

$$\delta = 8.36658^\circ \text{ R//}$$

$$\theta + \delta = 45.236^\circ \text{ R//}$$

$$I_q = 26.243 \cos 45.236^\circ = 18.48 \text{ A R//}$$

$$I_d = 26.243 \sin 45.236^\circ = 18.633 \text{ A R//}$$

$$E_{af} = V_{ta} \cos \delta + I_d X_d$$

$$E_{af} = \frac{440}{\sqrt{3}} \cos 8.3658 + 18.633 * 4.1 = 327.726 \text{ V R//}$$

$$P_d = \frac{V_{ta} E_{af}}{X_d} \sin \delta + \frac{1}{2} V_{ta}^2 \left( \frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta$$

$$P_d = \frac{\frac{440}{\sqrt{3}} * 327.726}{4.1} \sin 8.3658 + \frac{1}{2} \left( \frac{440}{\sqrt{3}} \right)^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{4.1} \right) \sin(2 * 8.3658)$$

$$P_d = 5.333 \text{ Kw R//}$$

$$P_{d3\phi} = 3 * 5.333 = 15.9998 \text{ Kw R//}$$

$$W_s = \frac{200 * 2\pi}{60} = \frac{20}{3} \pi \text{ R//}$$

$$T = \frac{P_{d3\phi}}{W_s} = \frac{15.9998}{\frac{20}{3}\pi} = 763.94 \text{ N * m R//}$$

$$R\% = \frac{E_{af} - V_{ta}}{V_{ta}} * 100 = \frac{327.726 - \frac{440}{\sqrt{3}}}{\frac{440}{\sqrt{3}}} * 100$$

$$R\% = 29\% \text{ R//}$$

**Motor sincrónico trifásico, polos salientes, Y, 220V, tiene una  $X_d = 5\Omega/\text{fase}$ ,  $X_q = 3\Omega/\text{fase}$**

**Si  $\delta = 30^\circ$  y  $P_d = 30\text{kW}$ ; calcular la R%**

**Solución**

$$P_d = \frac{V_{ta}E_{af}}{X_d} \sin \delta + \frac{1}{2}V_{ta}^2 \left( \frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta$$

$$V_{ta} = \frac{220}{\sqrt{3}}$$

$$P_d = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}} * E_{af}}{5} \sin 30 + \frac{1}{2} \left( \frac{220}{\sqrt{3}} \right)^2 \left( \frac{1}{3} - \frac{1}{6} \right) \sin 60$$

$$\frac{30000}{3} = 12.7E_{af} + 931.458 \text{ R//}$$

$$E_{af} = 714.058 \text{ V R//}$$

$$R\% = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}} - 714.058}{714.058} * 100 = -82.22\% \text{ R//}$$

## **EJERCICIOS DE MAT LAB DEL CAPITULO 4.**

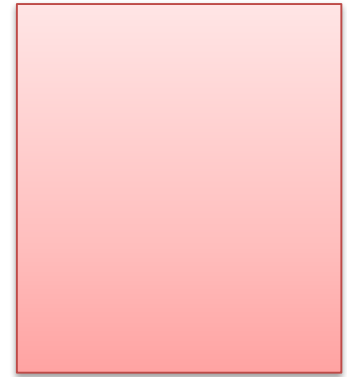
A CONTINUACION SE PRESENTA LA SOLUCION DE LOS EJERCICIOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB.

### PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 4.

Se tiene un alternador trifásico (cuyos datos de placa son de 500KVA, 1100V, 60Hz) conectado en estrella con impedancia sincrónica por fase de  $Z_s = 0.1 +$

1.2j. Calcular el voltaje para los siguientes casos:

1. Factor de potencia unitario, considerando:
  - a. 100% de la corriente nominal
  - b. 75% de la corriente nominal
  - c. 50% de la corriente nominal
2. Factor de potencia de 0.9 en adelanto, considerando los incisos a. b. y c. anteriores.







## **CAPÍTULO 5. TRANSFORMADORE**



## Concepto.

El transformador es un dispositivo electromagnético que tiene dos o más bobinas estacionarias acopladas a través de un flujo magnético, se lo ubica dentro de la clasificación de las maquinas estacionarias.

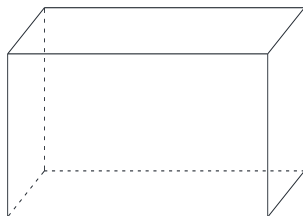
## Características

- Un transformador está formado por un circuito eléctrico, dos circuitos magnéticos y un núcleo magnético
- El circuito eléctrico está constituido por el bobinado primario y secundario.
- El circuito que recibe la energía se llama bobinado primario y el que suministra se le conoce como bobinado secundario.
- El transformador tiene un núcleo magnético

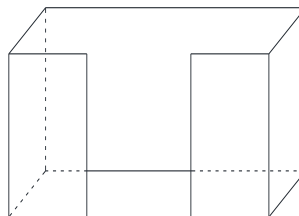
## Tipos de núcleo

En el estudio de los transformadores se encuentran los siguientes tipos de núcleos

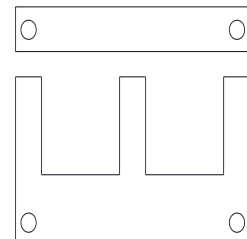
### Formas de núcleo



Sin acorazado



Acorazado



Acorazado con chapa E o I

## Transformador ideal.

Se supone que un transformador ideal tiene el núcleo infinitamente permeable sin pérdidas en sus devanados y no presentan flujo de dispersión.

El transformador ideal su núcleo es de aire (no están conectados físicamente).

## Transformador Real

Su núcleo está formado por láminas de acero, posee devanados por el cual existen pérdidas y presentan flujo de dispersión.

### Pérdidas en un transformador

Según la fig.5.1, en un transformador ideal no se tienen pérdidas resistivas, ni pérdidas por histéresis y tampoco las causadas por corrientes parásitas, simplemente porque su núcleo es ideal e infinitamente permeable.

En un transformador real si se presentan pérdidas de potencia, por lo general se producen en el núcleo las que se les conoce como pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas. Otro tipo de pérdidas son las que se producen en el bobinado primario y secundario se les llama pérdidas resistivas ( $I^2 \cdot R$ ).

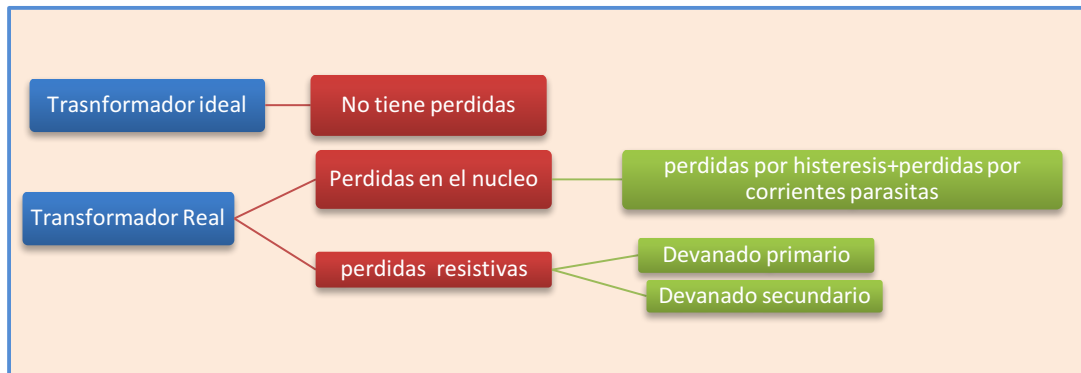
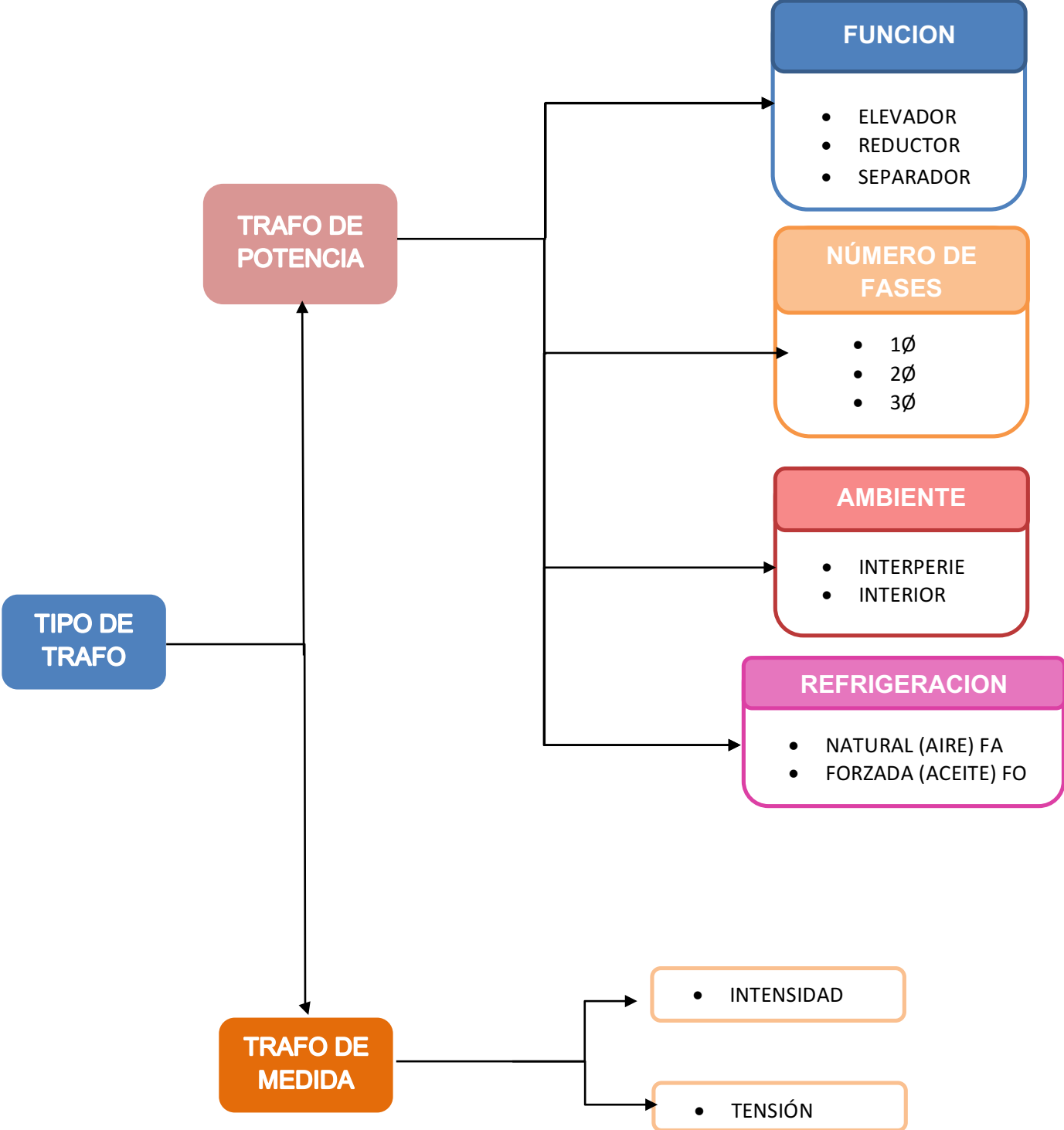


Figura 5.1. Análisis de pérdidas en transformadores

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR

## CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES



## Transformador con núcleo de aire acoplado inductivamente.

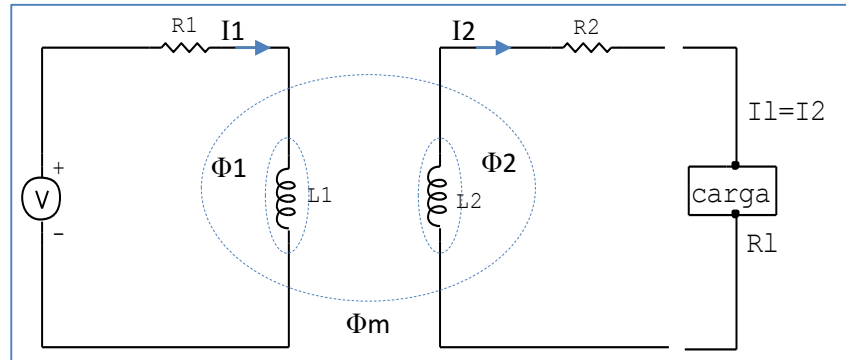


Figura 5.2. Transformador con núcleo de aire acoplado inductivamente.

**M**= inductancia mutua  
**V<sub>1</sub>**= tensión de alimentación acoplada al primario  
**R<sub>1</sub>**= Resistencia del circuito primario  
**L<sub>1</sub>**= inductancia del circuito primario  
**X<sub>L1</sub>**= Reactancia inductiva del circuito primario  
**Z<sub>1</sub>**= impedancia del circuito primario  
**I<sub>1</sub>**= corriente eficaz  
**E<sub>1</sub>**= tensión inducida por la bobina  
**Φ**= flujo de dispersión de la bobina

**E<sub>L</sub>**= tensión inducida por la bobina secundaria  
**V<sub>2</sub>**= tensión en los bornes  
**I<sub>2</sub>**= corriente eficaz suministrada por el circuito secundario  
**R<sub>2</sub>**= resistencia del circuito secundario  
**X<sub>L2</sub>**= Reactancia inductiva secundaria  
**L<sub>2</sub>**= inductancia del circuito secundario  
**Φ<sub>2</sub>**= flujo de dispersión de la bobina 2  
**Φ<sub>m</sub>**= Flujo mutuo que concatenan con la bobina 1 y 2

$$K = \frac{\phi_m}{\phi_m * \phi_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 * L_2}} \quad (5.1)$$

$$M = K \sqrt{L_1 * L_2} \quad (5.2)$$

$$c_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (5.4)$$

$$c_1 = V_1 \text{ (trans ideal)} \quad (5.6)$$

$$\phi = \frac{1}{N_1} \int V_1 dt \text{ (}\omega t\text{)} \quad E_1 = \frac{w * N_1 * \phi_m}{\sqrt{2}} \quad (5.9)$$

$$\phi = \phi_m * \sin \omega t \quad (5.9)$$

$$c_1 = w * N_1 * \phi_m \sin \omega t \quad (5.11)$$

$$c_2 = w * N_2 * \phi_m \sin \omega t \quad (5.12)$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{w * N_1 * \phi_m \sin \omega t}{w * N_2 * \phi_m \sin \omega t}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (5.3)$$

$$\text{En rms } \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha \quad (5.5)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \alpha^2 \quad (5.7)$$

$$E_1 = 4.44 f * N_1 \phi_m \quad (5.8)$$

$$f = \frac{w}{2\pi} \rightarrow f * 2\pi = w \quad (5.10)$$

Si  $\alpha < 1$  transformador elevador

Si  $\alpha > 1$  transformador reductor

$P_1 = P_2$  relación de potencia

$N$  = # de bobinas

$K$  = coeficiente de acoplamiento

$$E_1 I_1 = E_2 I_2 \quad (5.13)$$

$a$  = relación de transformación

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (5.14)$$

### Coeficiente de acoplamiento (K).

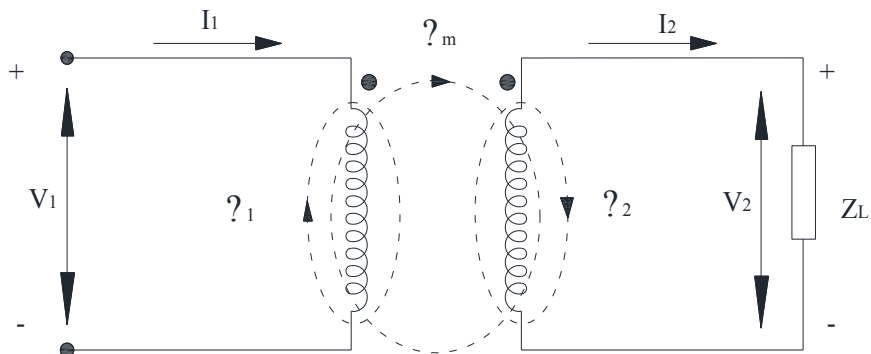
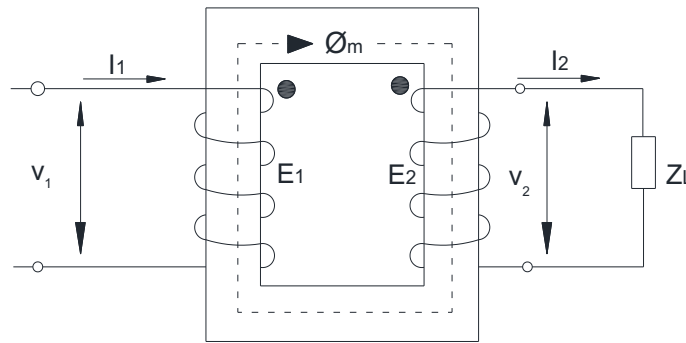
Es la relación de las 2 bobinas entre el flujo mutuo y el flujo total definido.

**Flujo aditivo:** es cuando sigue el mismo sentido.

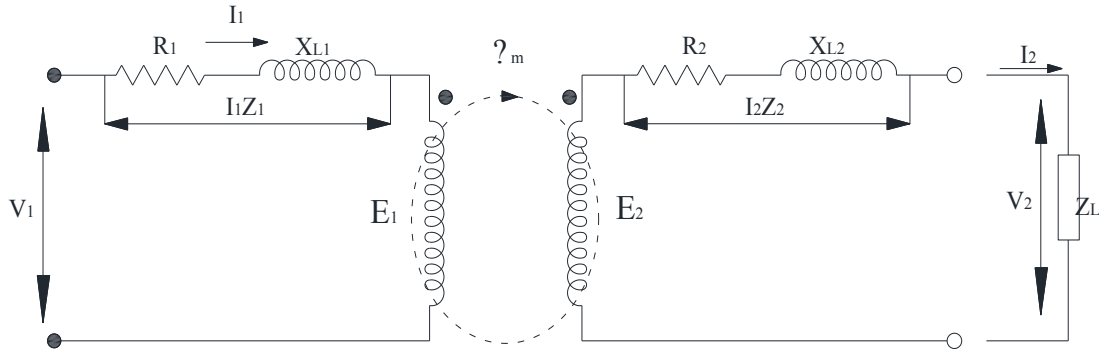
**Flujo sustractivo:** es cuando están en sentido contrario.

- Los transformadores que tienen un acoplamiento débil se usa en la comunicación de alta frecuencia y en los circuitos electrónicos
- Los transformadores de potencia con núcleo de hierro se intenta conseguir un coeficiente de acoplamiento igual a la unidad.

### Transformador con núcleo de hierro acoplado inductivamente.



**Transformador real**  
**Flujo de dispersión primario y secundario con carga**



$$\alpha = \frac{N_1}{N_2}$$

**Circuito del transformado real**  
**Resistencia y reactancia primaria y secundaria**

Un transformador real tiene un núcleo de Fe y conectado a una carga

- En un transformador real existe un buen acoplamiento debido al núcleo de Fe
- En un transformador real además de flujo mutuo ( $\Phi_m$ ) se producen pequeños flujos de dispersión en los arrollamientos del primario y secundario  $\Phi_1$  y  $\Phi_2$
- El flujo de dispersión primario  $\Phi_1$  produce reactancia inductiva primario  $X_{L1}$ .
- El flujo de dispersión secundario  $\Phi_2$  produce reactancia inductiva secundaria  $X_{L2}$ .
- Como los arrollamientos del primario y secundario están devanados con material de Cu tenemos una cierta resistencia  $r_1$  y  $r_2$  tanto por el arrollamiento primario y secundario.
- Estas reactancias y resistencias del primario y secundario producen caídas de tensión inductivas dentro de transformación como resultado de las corrientes en el primario y secundario  $I_1$  y  $I_2$

$$Z_1 = r_1 + jX_{L1}$$

$Z_1$  = impedancia interna primaria

$r_1$  = resistencia interna del primario

$X_{L1}$  = reactancia interna inductiva de dispersión

$$Z_2 = r_2 + jX_{L2}$$

$Z_2$ = impedancia interna del secundario

$r_2$ = resistencia interna del bobinado secundario

$X_{L2}$ =reactancia interna del bobinado secundario

Las FEM inducidas del primario y secundario se calculan

$$E_1 = 4.44fN_1B_mA * 10^{-8}$$

$$E_2 = 4.44fN_2B_mA * 10^{-8}$$

Donde

$B_m$ =densidad de flujo máxima

$f$ =frecuencia

$N_1$ = # de bobinado del primario

$N_2$ =# de bobinado del secundario

$A$ = área del conductor

$E_1$ =FEM inducida del primario

$E_2$ = FEM inducida del secundario

O también

$$E_1 = V_1 - I_1R_1$$

$$\text{Si } Z_1 = r_1 + jX_1$$

$$E_1 = V_1 - I_1(r_1 + jX_{L1})$$

$$E_2 = V_2 - I_2R_2$$

$$\text{Si } Z_2 = r_2 + jX_2$$

$$E_2 = V_2 - I_2(r_2 + jX_{L2})$$

$$\phi = B * A$$

$B$ =densidad de flujo  $\left(\frac{wb}{m^2}\right) = \text{tesla}$

$A$ =arco ( $m^2$ )

$\phi = (wb)$  Flujo magnético

$1web = 1 * 10^8 \text{maxell}$

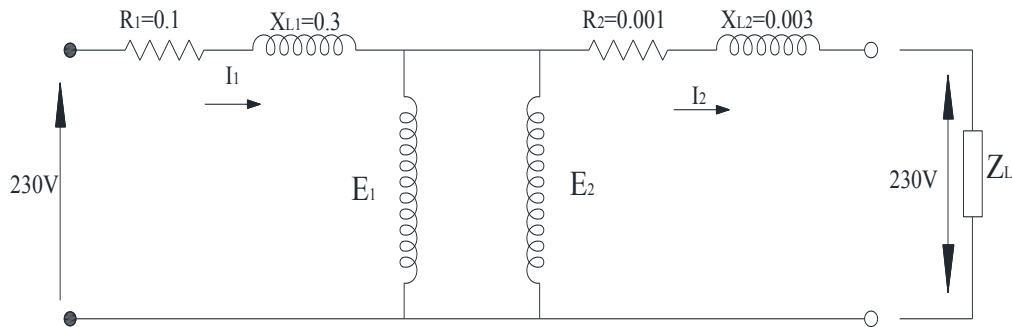
$1tesla = 10^4 \text{gauss}$

∴ La tensión en el primario  $V_1 >$  que la FEM inducida en el bobinado primario.

∴ La tensión en el terminal del secundario  $V_2 <$  que la FEM inductiva desarrollada en el secundario.

$$\frac{V_1 > E_1}{V_2 < E_2}$$

1. Un transformador reductor de 2300/230V, 500KVA, 60Hz tiene los siguientes valores  $r_1 = 0.1\Omega$ ,  $r_{L1} = 0.3\Omega$ ,  $r_2 = 0.001\Omega$ ,  $x_{L2} = 0.003\Omega$ . Cuando el transformador se usa como reductor y está cargado a una capacidad nominal calcular
- Corrientes en el primario y secundario
  - Impedancia interna en el secundario y primario
  - Caídas de tensión interna en el secundario y en el primario
  - FEM inducida en el secundario y en el primario, suponiendo que las tensiones en los bornes y las FEM inducida están el fase
  - Relación de FEM inducida en el primario y el secundario y tensiones en los bornes entre el primario y secundario



**a.  $I_2$  secundario**

$$P_o = V * I$$

$$P_o = V_2 * I_2$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_2}$$

$$I_2 = \frac{500 * 10^3 VA}{230} = 2174A$$

**$I_1$  Primario**

$$\alpha = \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{2300V}{230V} = 10$$

$$10 = \frac{2174}{I_1}$$

$$I_1 = 217.4A$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$V_1 I_1 = I_2 V_2$$



$$I_1 = \frac{V_2 I_2}{V_1}$$

$$I_2 = \frac{230 * 2174}{2300}$$

$$I_2 = \mathbf{217.4A}$$

b.  $Z_{i2} = r_2 + x_{L2}$   
 $Z_2 = 0.001\Omega + 0.003\Omega j$   
 $Z_2 = 0.00316\angle 71.3^\circ \Omega$   
 $Z_{i1} = r_1 + X_{L1}$   
 $Z_{i1} = 0.1\Omega + 0.3\Omega j$   
 $Z_2 = 0.316\angle 71.56^\circ \Omega$

c. Caída de tensión

$$V_1 = I_1 Z_1$$

$$V_1 = 217.4 * 0.316 = 68.64V$$

$$V_2 = I_2 Z_2$$

$$V_2 = 2174A * 0.00316 = 6.869V$$

d. FEM inducida

$$E_2 = V_2 + I_2 Z_2$$

$$E_2 = 230 + 2174 * 0.00316\angle 71.3^\circ$$

$$E_2 = 236.86\angle 71.3^\circ V$$

$$E_1 = V_1 - I_1 Z_1$$

$$E_1 = 2300 - 217.4 * 0.316\angle 71.5^\circ$$

$$E_1 = 2231.3\angle 71.5^\circ$$

e.  $\alpha = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2}$

$$\alpha = \frac{2231.2}{236.6} = 9.42$$

$$\alpha = \frac{2300}{230} = 10$$

f. Impedancia de carga  $Z_L$

$$V_L = I_2 Z_L$$

$$Z_L = \frac{V_2}{I_1} = \frac{230}{2134} = 0.1053\Omega$$

g. Impedancia interna en el primario

$$V_1 = i_1 Z_p$$

$$Z_p = \frac{V_1}{I_1} = \frac{2300}{213.4} = 10.55\Omega$$

## PROBLEMAS RESUELTOS DEL CAPITULO 5.

**5.1. En el lado de alta tensión de un transformador tiene 500 espiras mientras que en el lado de baja tensión se tiene 100 espiras, cuando se conecta un transformado reductor de  $I_1=12\text{Amp}$ . Calcular:**

- a) La relación de transformación.
- b) La componente de carga de la corriente del primario.

**Datos:**

$$\begin{array}{lll}
 N_1=500\text{espiras} & N_1 I_1 = N_2 I_2 & \alpha = \frac{N_1}{N_2} = \frac{100}{500} \\
 N_2=100\text{espiras} & I_1 = \frac{N_2 I_2}{N_1} & \alpha = 5 \text{ R//} \\
 I_1=I_2= 12 \text{ Amp} & I_1 = 2.4\text{Amp R//} & 
 \end{array}$$

**5.2. Calcular la relación de transformación y su corriente de carga, si  $I_2=12\text{Amp}$ . El lado de baja tensión tiene 100 espiras y el lado de alta tensión tiene 500 espiras considerar como elevador.**

Datos:

$$\begin{array}{lll}
 N_1=100\text{espiras} & I_1 = \frac{N_2 I_2}{N_1} & \alpha = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^{-1} = \left(\frac{100}{500}\right)^{-1} \\
 N_2=500\text{espiras} & I_1 = 60\text{Amp R//} & \alpha = 0.2 \text{ R//} \\
 I_1=I_2= 12 \text{ Amp} & & 
 \end{array}$$

**5.3. Por el arrollamiento de un par de bobinas acoplada circula una corriente de 5Amp y los flujos comprendidos  $\phi_{11}$  y  $\phi_{12}$  son 20000 y 40000 Maxwell respectivamente, si el número de espiras  $N_1=500$  y  $N_2=1500$ , encontrar  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $I_2$ ,  $\phi_M$  y  $K$  de acoplo magnético.**

**1 weber (wb) =  $1 \cdot 10^8$  Maxwell**

Datos

$$\begin{array}{l}
 I_1 = 5\text{Amp} \\
 \phi_{11} = 20000 \text{ Maxwell} = 2 \cdot 10^{-4} \text{Wb} \\
 \phi_{12} = 40000 \text{ Maxwell} = 4 \cdot 10^{-4} \text{Wb} \\
 N_1 = 500 \\
 N_2 = 1500
 \end{array}$$

$$L_1 = \frac{N_1 \phi_{11}}{I_1} = L_1 = \frac{500(2 \cdot 10^{-4} \text{wb})}{5A} = L_1 = 0.02H \text{ R//}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = I_2 = I_1 \left(\frac{N_1}{N_2}\right) = I_2 = 5A \left(\frac{500}{1500}\right) = I_2 = 1.66A \text{ R//}$$

$$L_2 = \frac{N_2 \phi_{12}}{I_2} = L_2 = \frac{1500(4 \cdot 10^{-4} \text{wb})}{1.66 \text{A}} = L_2 = 0.36 \text{H R//}$$

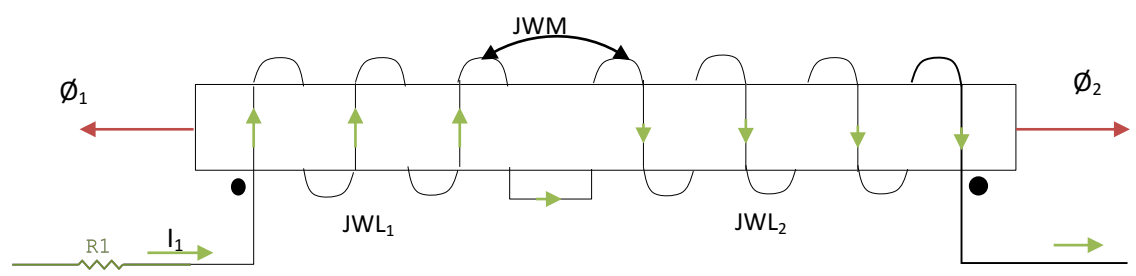
$$M = \frac{N_2 \phi_{12}}{I_1} = M = \frac{1500(4 \cdot 10^{-4} \text{wb})}{5 \text{A}} = M = 0.12 \text{H R//}$$

$$\varphi_T = \phi_{11} + \phi_{12} \quad \varphi_T = (2 \cdot 10^{-4} \text{wb}) + (4 \cdot 10^{-4} \text{wb}) \Rightarrow \varphi_T = (6 \cdot 10^{-4} \text{wb}) \text{ R//}$$

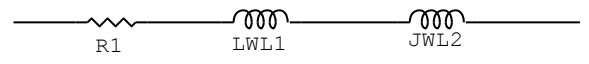
$$K = \frac{\phi_{12}}{\varphi_T} = K = \frac{4 \cdot 10^{-4} \text{wb}}{6 \cdot 10^{-4} \text{wb}} = K = 0.66 \text{ R//}$$

**5.4. Según la conexión serie de las bobinas. Determinar:**

- a) El punto de polaridad de entrada y salida de la corriente.
- b) El sentido de flujo.
- c) Establecer el circuito equivalente.



Circuito equivalente

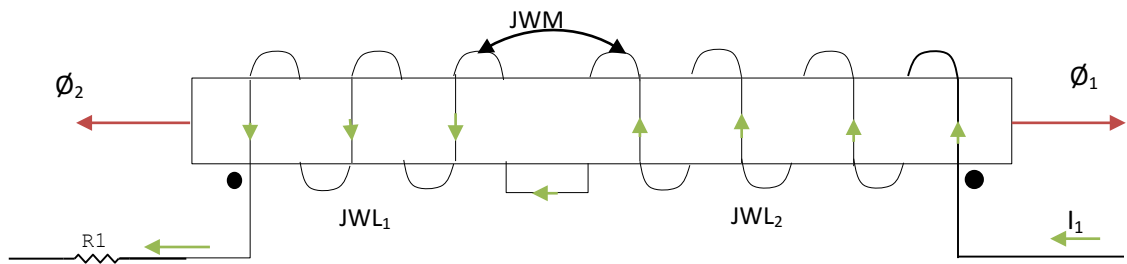


$$R_1 + JWL_1 - JWM - JWM - JWL_2 = 0$$

$$R_1 + JWL_1 - 2JWM - JWL_2$$

$$Z = R_1 + JW(L_1 - 2M - L_2)$$

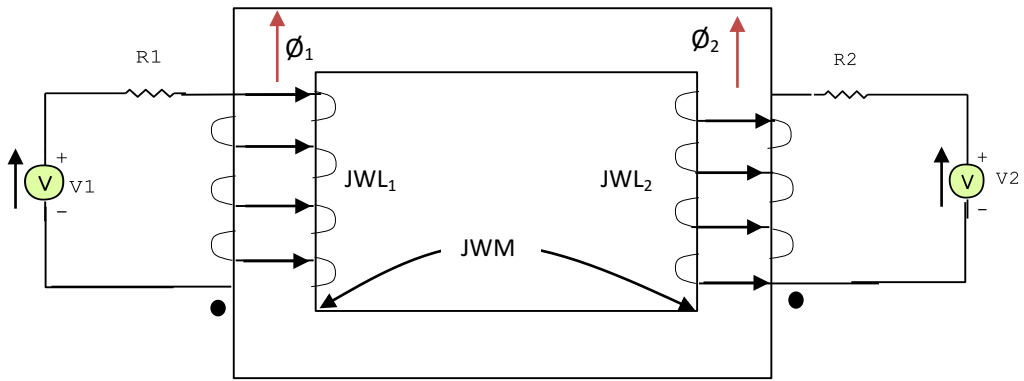
Por la otra dirección de la corriente



$$R_1 - JWL_1 - JWM - JWM + JWL_2 = 0$$

$$R_1 - JWL_1 - 2JWM + JWL_2$$

$$Z = R_1 + JW(-L_1 - 2M + L_2)$$



$$I_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} = -V$$

### Generalizado

#### Primario

$$V_1 + V_{R1} + V_{L1} + V_M = 0$$

$$V_{R1} + V_{L1} + V_M = -V_1$$

$$I_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} = -V_1$$

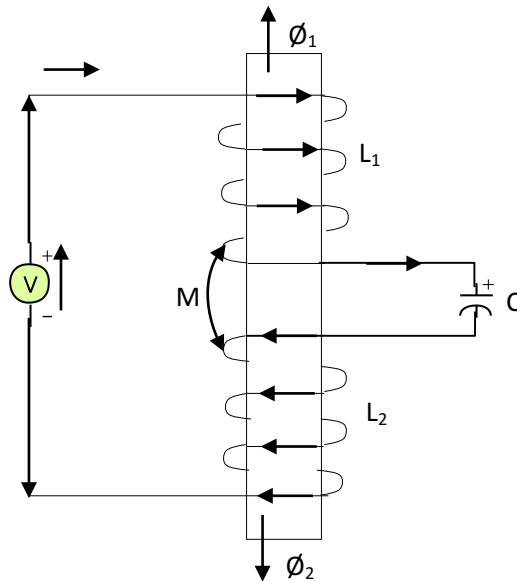
$$V_2 + V_{R2} + V_{L2} + V_M = 0$$

$$V_{R2} + V_{L2} + V_M = -V_2$$

$$I_2 R_2 + L_1 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt} = -V_2$$

### 5.5. Dado el circuito de la figura. Determinar:

- La polarización de los puntos de entrada y salida.
- La dirección del flujo.
- Las ecuaciones en valores instantáneos.

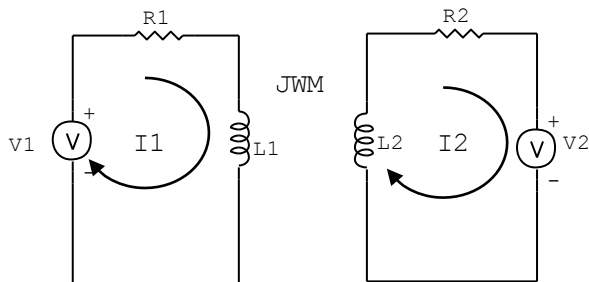


$$V + V_{R1} + V_{L1} + V_M + V_C + V_{L2} = 0$$

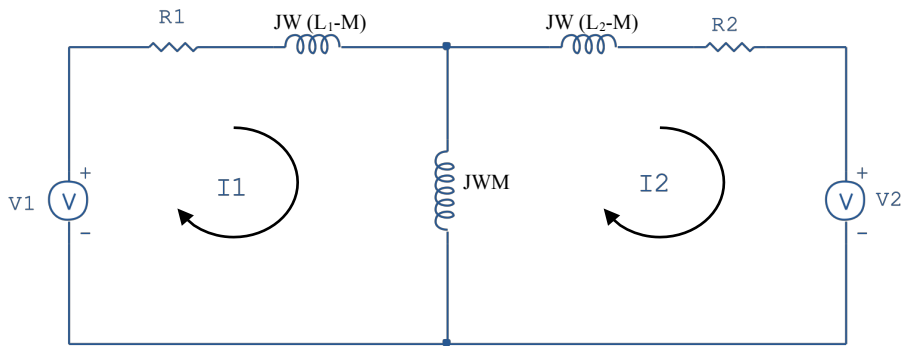
$$V_{R1} + V_{L1} + V_M + V_C + V_{L2} = -V$$

$$I_1 R_1 + L_1 \frac{di}{dt} + 2M \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + L_2 \frac{di}{dt} = -V$$

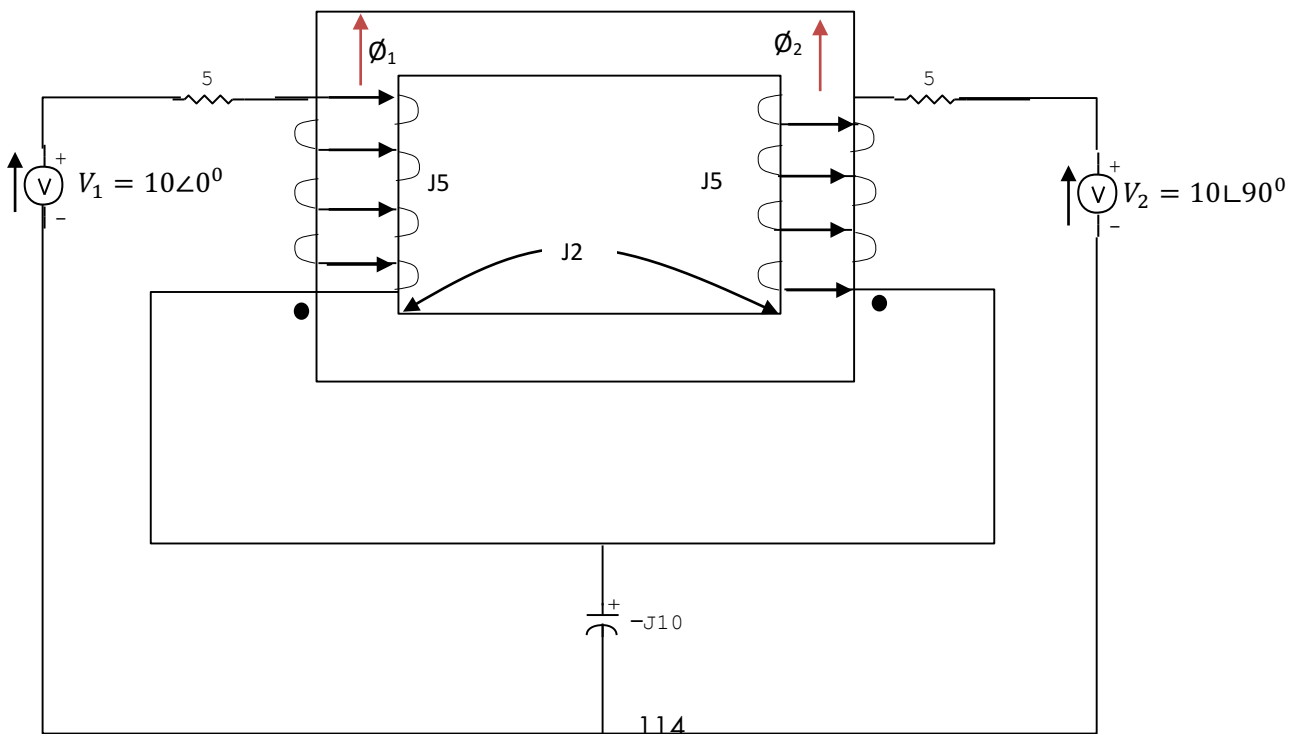
### Circuito acoplado inductivo



### Circuito equivalente

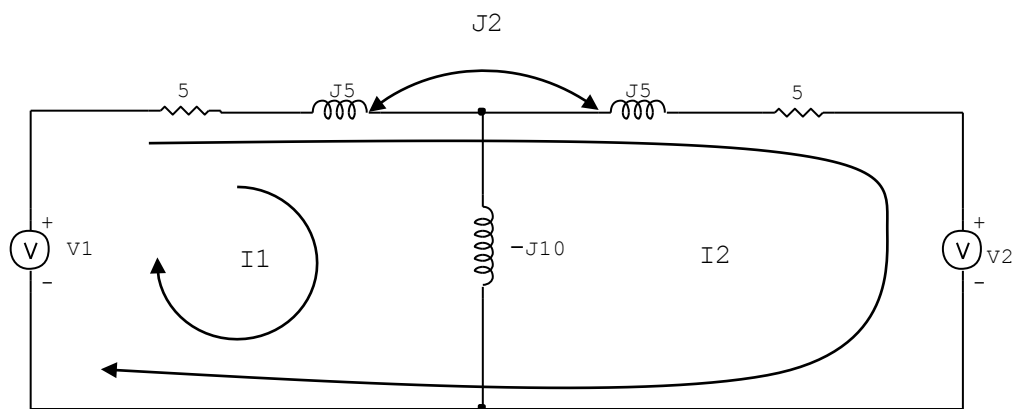


$$\begin{vmatrix} R_1 + JW L_1 & -JWM \\ -JWM & R_2 + JW L_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \end{vmatrix}$$



Dado el circuito. Determinar:

- El circuito equivalente
- Los puntos del circuito de acuerdo al sentido de la corriente
- El sentido de flujo
- Determinar la tensión en la reactancia  $j10$  empleando el circuito equivalente



$$M = \begin{vmatrix} 5 + j5 - j10 & 0 \\ 0 & 5 + j5 - j2 - j2 + j5 + 5 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10 \angle 0 \\ 10\sqrt{2} \angle 315 \end{vmatrix}$$

$$M = \begin{vmatrix} 5 - j5 & 0 \\ 0 & 10 - j6 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10 \angle 0 \\ 10\sqrt{2} \angle 315 \end{vmatrix}$$

$$\Delta M = 20 - j80$$

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 0 \\ -10\sqrt{2} \angle 315 & 10 - j6 \end{vmatrix}}{\Delta M} = \frac{100 - j60}{20 - j80} = 1 + j = \sqrt{2} \angle 45$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 5 - j5 & 10 \\ 0 & 10\sqrt{2} \angle 315 \end{vmatrix}}{\Delta M} = \frac{-j100}{20 - j80} = \frac{20}{17} - j\frac{5}{17} = 1.21 \angle -14.03 \rightarrow \mathbf{1.21 \angle 345.97}$$

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$I_T = \sqrt{2} \angle 45 + 1.21 \angle 345.97$$

$$I_T = 2.28 \angle 18$$

$$V_{j10} = I_1 * X_L$$

$$V_{j10} = (\sqrt{2} \angle 45)(j10)$$

$$V_{j10} = 10\sqrt{2} \angle 135]$$

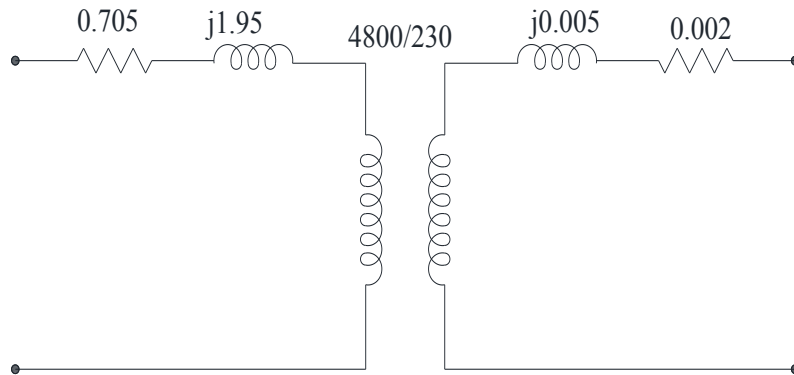
**5.7 Se instala un banco trifásico con tres transformadores monofásicos, cada transformador tiene 150kVA, relación de 4800/230 V, 60Hz y los siguientes parámetros referidos a sus propio lado.**

$$r_1 = 0.705\Omega \quad x_1 = 1.95\Omega$$

$$r_2 = 0.002\Omega \quad x_2 = 0.005\Omega$$

**Para la conexión delta en el primario y Y en el secundario, calcular el voltaje primario de alimentación que se requiere para mantener constante el voltaje**

nominal secundario cuando alimenta a una carga con un 10% sobre la nominal a un  $\text{fp}=0.95$  en atraso



### Solución

$$\text{Relación } a = \frac{4800}{230} = 20.87$$

Impedancia secundaria referida al primario

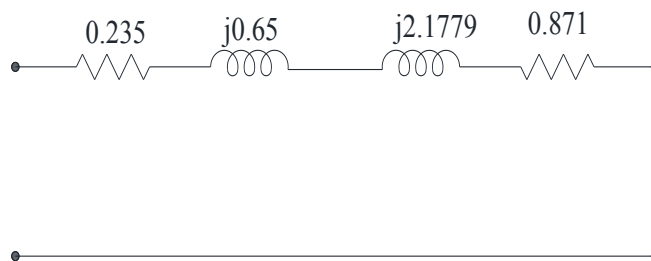
$$Z'_2 = a^2 Z_2$$

$$Z'_2 = (20.87)^2 * (0.002 + j0.005) = 0.871 + j2.17769$$

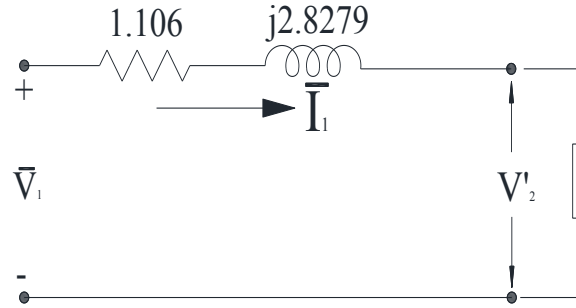
Impedancia primaria en el circuito equivalente 1 $\phi$

$$Z_y = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{0.705 + j1.95}{3} = 0.235 + j0.65$$

Circuito equivalente 1 $\phi$  visto desde el primario







$$V'_2 = \frac{4800}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$$

$$S = 1.1 * 150 = 165 \text{ kVA}$$

$$\bar{I}_1 = \frac{165 * 10^3}{\frac{4800}{\sqrt{3}}} \angle 18.195^\circ$$

$$\bar{I}_1 = 59.54 \angle -18.195^\circ$$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 + \bar{I}_1 Z$$

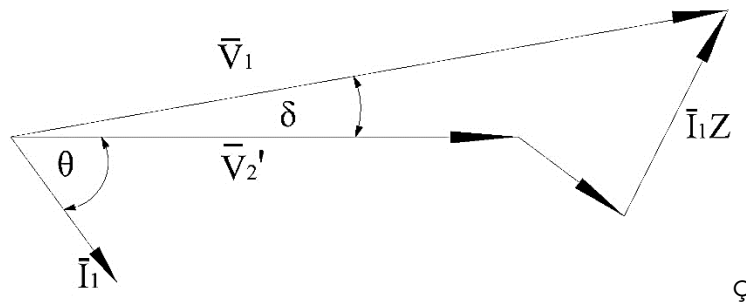
$$\bar{V}_1 = \frac{4800}{\sqrt{3}} + 59.54 \angle -18.195^\circ (1.106 + j2.8279)$$

$$\bar{V}_1 = \frac{4800}{\sqrt{3}} + 59.54 \angle -18.195^\circ (3.036 \angle 68.64^\circ)$$

$$\bar{V}_1 = \frac{4800}{\sqrt{3}} + 180.76 \angle 50.44^\circ = 2771.28 + 115.123 + j139.36$$

$$\bar{V}_1 = 2886.404 + j139.36 = 288.767 \angle 2.764^\circ$$

$$\bar{V}_1 = \sqrt{3} V_1 = 5005.22 \text{ V}$$



## EJERCICIOS DE MATLAB DEL CAPITULO 5.

### A CONTINUACIÓN SE PRESENTA LA SOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB.

#### EJERCICIO RESUELTO 5.1.

##### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('5.1. En el lado de alta tensión de un transformado tiene 500 espiras
mientras que en el lado');
disp('de baja tensión se tiene 100 espiras, cuando se conecta un transformado
reductor de I2=12 [A]');
fprintf( '\nCALCULAR:\n');
disp('a) La relación de transformación. ');
disp('b) La componente de carga de la corriente del primario. ');
%SOLUCION
fprintf( '\nSOLUCION: ');
%DATOS
N1=500;
N2=100;
I2=12;
IL=I2;
%APLICANDO LA FORMULA  $I_1=N_2/N_1$ 
Rel=N1/N2;
fprintf( '\na) La relación de transformación es: %4.3g',Rel);
%APLICANDO LA FORMULA  $I_1=(N_2*I_2)/N_1$ 
I1=(N2*I2)/N1;
fprintf( '\nb) La componente de carga de la corriente del primario es: %4.3g
[A]\n', I1);
PANTALLA
```

```
Command Window
5.1. En el lado de alta tensión de un transformado tiene 500 espiras mientras que en el lado
de baja tensión se tiene 100 espiras, cuando se conecta un transformado reductor de I2=12 [A]

CALCULAR:
a) La relación de transformación.
b) La componente de carga de la corriente del primario.

SOLUCION:
a) La relación de transformación es: 5
b) La componente de carga de la corriente del primario es: 2.4 [A]
ft >>
```

## EJERCICIO RESUELTO 5.2.

### CÓDIGO

```
clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('5.2. Calcular la relación de transformación y su corriente de carga, si
I2=12 [A].');
disp('El lado de baja tensión tiene 100 espiras y el lado de alta tensión');
disp('tiene 500 espiras considerar como elevador');
%SOLUCION
fprintf( '\nSOLUCION:');
%DATOS
N1=100;
N2=500;
I2=12;
IL=I2;
%APLICANDO LA FORMULA ?=N2/N1
Rel=N1/N2;
fprintf('\na) La relación de transformación es: %4.3g',Rel);
%APLICANDO LA FORMULA I1=(N2*I2)/N1
I1=(N2*I2)/N1;
fprintf('\nb) La componente de carga de la corriente del primario es: %4.3g
[A]\n',I1);
```

### PANTALLA

```

Command Window
5.2. Calcular la relación de transformación y su corriente de carga, si I2=12 [A].
El lado de baja tensión tiene 100 espiras y el lado de alta tensión
tiene 500 espiras considerar como elevador

SOLUCION:
a) La relación de transformación es: 0.2
b) La componente de carga de la corriente del primario es: 60 [A]
fx >> |

```

### EJERCICIO RESUELTO 5.3.

#### CÓDIGO

```

clc
clear all
%ENUNCIADO DEL PROBLEMA
disp('5.3. Por el arrollamiento de un par de bobinas acoplada circula una ');
disp('corriente de 5 [A] y los flujos comprendidos F1_1 y F1_2 son 20000 y ');
disp('40000 [Maxwell] respectivamente, si el número de espiras es N1=500 y
N2=1500 ');
fprintf('\nENCONTRAR:\n');
disp('a) EL VALOR DE L1');
disp('b) EL VALOR DE I2');
disp('c) EL VALOR DE L2');
disp('d) EL VALOR DE Flujo M');
disp('e) EL VALOR K DE ACOPLO MAGNETICO');
%SOLUCION
fprintf(' \nSOLUCION:');
%DATOS
I1= 5;
F1_1=2*10^(-4);
F1_2=4*10^(-4);
N1=500;
N2=1500;
%APLICANDO LA FORMULA L1=(N1*F1_1)/I1
L1=(N1*F1_1)/I1;
fprintf('\na) EL VALOR DE L1 es: %4.3g [H]',L1);
%APLICANDO LA FORMULA I2=I1*(N1/N2)

```

```

I2=I1*(N1/N2);
fprintf('\nb) EL VALOR DE I2 es: %4.3g [A]',I2);
%APLICANDO LA FORMULA L2=(N2*F1_2)/I2
L2=(N2*F1_2)/I2;
fprintf('\nc) EL VALOR DE L2 es: %4.3g [H]',L2);
%APLICANDO LA FORMULA M=(N2*F1_2)/I1
M=(N2*F1_2)/I1;
fprintf('\nd) EL VALOR DE Flujo M es: %4.6g [Wb]',M);
%APLICANDO LA FORMULA FT=F1_1+F1_2
FT=F1_1+F1_2;
%APLICANDO LA FORMULA K=F1_2/FT
K=F1_2/FT;
fprintf('\ne) EL VALOR K DE ACOPLO MAGNETICO es: %4.3g\n',K);

```

## PANTALLA

The screenshot shows a 'Command Window' with the following text:

```

5.3. Por el arrollamiento de un par de bobinas acoplada circula una
corriente de 5 [A] y los flujos comprendidos F1_1 y F1_2 son 20000 y
40000 [Maxwell] respectivamente, si el número de espiras es N1=500 y N2=1500

ENCONTRAR:
a) EL VALOR DE L1
b) EL VALOR DE I2
c) EL VALOR DE L2
d) EL VALOR DE Flujo M
e) EL VALOR K DE ACOPLO MAGNETICO

SOLUCION:
a) EL VALOR DE L1 es: 0.02 [H]
b) EL VALOR DE I2 es: 1.67 [A]
c) EL VALOR DE L2 es: 0.36 [H]
d) EL VALOR DE Flujo M es: 0.12 [Wb]
e) EL VALOR K DE ACOPLO MAGNETICO es: 0.667
fx >>

```

## PROBLEMAS PROPUESTOS DEL CAPITULO 5.

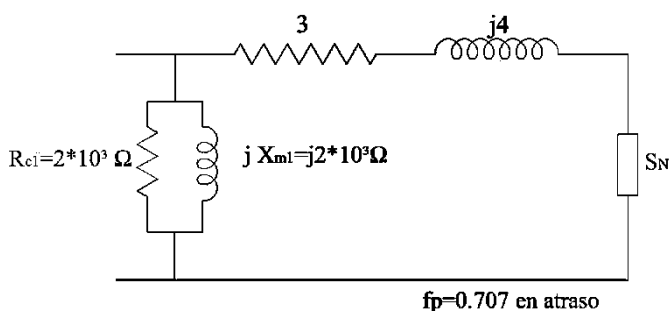
5.1 Un transformador reductor de 2.2kVA, 440/220V, 60Hz tiene los parámetros siguientes referidos al primario.

$$R = 0.75\Omega \quad R_{C1} = 2.5k\Omega$$

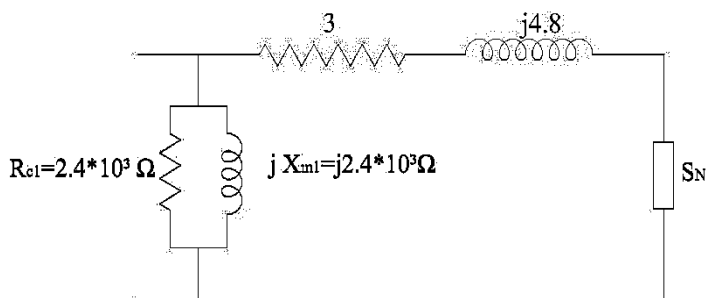
$$x = 4\Omega \quad x_{m1} = 2 K\Omega$$

El transformador se conecta a una fuente de 60Hz y opera a plena carga a un factor de potencia de  $fp=0.707$  en atraso. Determine la frecuencia y la regulación de voltaje del transformador.

**Solución**



A 60Hz



$$X = \omega L = 2\pi fL$$

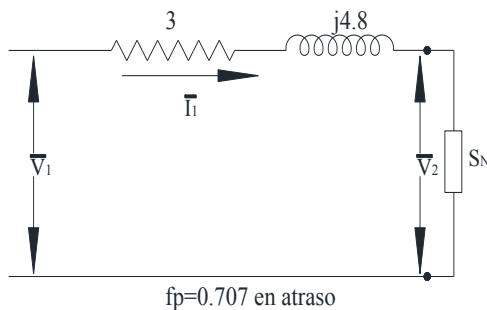
$$X_{50} = 2\pi * 50 * L$$

$$X_{60} = 2\pi * 60 * L$$

$$X_{60} = \frac{60}{50} X_{50} = 4.8$$

$$X_{m60} = \frac{60}{50} * 2 * 10^3 = 2.4 * 10^3$$

Para funcionamiento con carga



$$\bar{I}_1 = \frac{2.2 * 1000}{440} = 5 \angle 45^\circ$$

$$V_2' + \bar{I}_1(3 + j4.8) = 440 \angle \delta$$

$$V_2' + 5 \angle 45^\circ * 5.66 \angle 57.99^\circ = 440(\cos \delta + j \sin \delta)$$

$$V_2' + 28.30 \angle 12.99^\circ = 440(\cos \delta + j \sin \delta)$$

$$V_2' + 27.575 + j6.36 = 440 \cos \delta + j440 \sin \delta$$

$$6.36 = 440 \sin \delta$$

$$\sin \delta = 0.0144$$

$$\delta = 0.0824^\circ$$

$$V_2' = 440 \sin \delta - 27.575 = 412.38$$

$$R\% = \frac{440 - 412.38}{412.38} * 100 = 6.697\%$$

$$\eta\% = \frac{V_2 I * 0.707}{V_1 I \cos(45 + 0.828)} * 100\% = 95\%$$

$$\bar{I} = 0.8 \angle 25.84^\circ$$

$$\bar{V}_2 + I^2 Z = \bar{V}_1 = V_2 \angle \delta$$

$$V_2 + 0.8 \angle -25.84^\circ * 0.022 \angle 44.22^\circ = \cos \delta + j \sin \delta$$

$$V_2 + 0.0176 \angle 18.58^\circ = \cos \delta + j \sin \delta$$

$$V_2 + 0.0176 + j5.549 * 10^{-3} = \cos \delta + j \sin \delta$$

$$\sin \delta = 5.549 * 10^{-3}$$

$$\delta = 0.31797^\circ$$

$$V_2 = \cos \delta - 0.0167 = 0.98328$$

$$R\% = \frac{1 - 0.98328}{0.98328} * 100 = 1.7\%$$

$$\eta\% = \frac{V_2 I \cos \theta}{V_2 I \cos(\theta + \delta)} * 100 =$$

$$\eta\% = \frac{0.884925}{0.897582} * 100 = 98.59\%$$

5.2 Transformador reductor trifásico en Y/Δ, 150KVA, 2080/208V, 60Hz consta de 3 transformadores monofásico idénticos. Cada transformados tiene los siguientes parámetros.

$$r_1 = 0.45\Omega \quad r_2 = 4.5m\Omega \quad X_{d1} = 2.2\Omega \quad X_{d2} = 2.2m\Omega$$

$$G = 10^{-4} (S) \quad B_m = \frac{10^{-3}}{8} (S)$$

La carga del transformador es de 120KVA, 90kW en atraso. Determinar:

- El voltaje primario del transformador monofásico.
- $\eta\%$
- $R\%$
- $Z\%$  ( $85^\circ C$ )

**Solución**

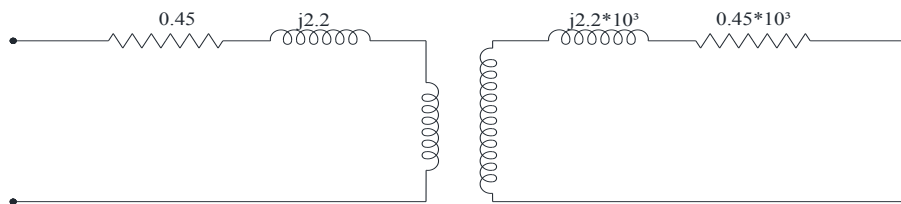
a) Transformador monofásico

$$S = 50KVA$$

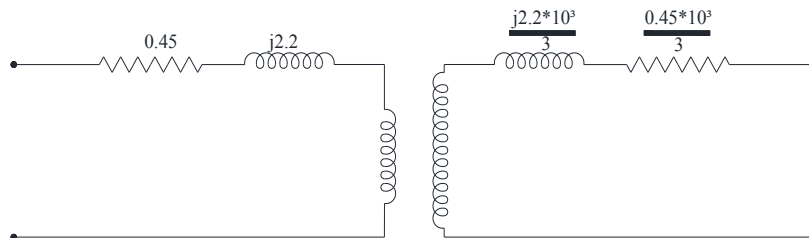
$$\frac{2080}{\sqrt{3}} = 1200.888 V \quad 1200/208$$

$$a = \frac{1200}{208} = 5.769$$

b) Para el transformador monofásico



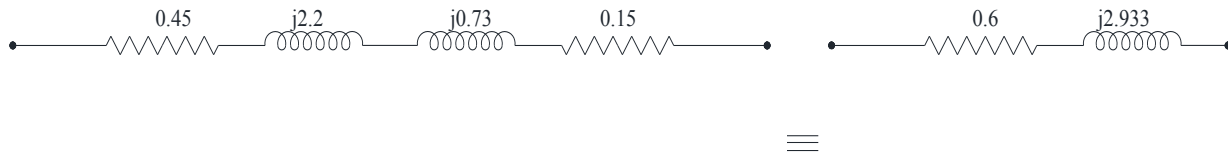
En el transformador trifásico



$$a' = \frac{1200}{208/\sqrt{3}} = 10$$



Referido al primario



$$r'_2 = \frac{4.5 \cdot 10^{-3}}{3} * 100 = 0.45 \quad X'_{d2} = \frac{22 \cdot 10^{-3}}{3} * 100 = 0.73$$

$$Z_{base_1} = \frac{V_{N_1}}{I_{N_1}} = \frac{1200}{150000 / (\sqrt{3} * 2080)} = 28.82$$

A 85° C

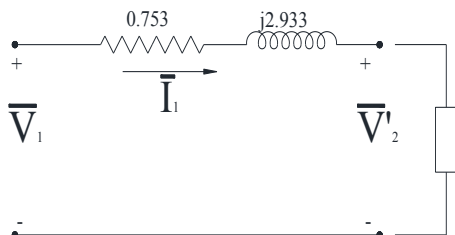
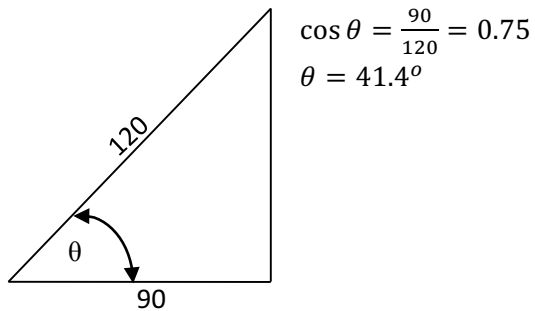
$$R_{85} = 0.6(1 + 0.00393 * 65) = 0.753 \Omega$$

$$Z = 0.753 + j2.933$$

$$Z_{pu} = \frac{0.753 + j2.933}{28.82} = 0.02613 + j0.10177 = 0.105 \angle 75.6^\circ$$

$$Z\%(85^\circ C) = 10.5\%$$

Con carga



$$S = 100 \text{ KVA} / 3$$

$$F_p = 0.75 \text{ en atraso}$$

$$\bar{I}_1 = \frac{120000/3}{1200} = \frac{120000}{\sqrt{3} * 2080} = 33.3A$$

$$\bar{I}_1 = 33.3\angle -41.4^\circ$$

$$V_2' + 33.3\angle -41.4^\circ (0.753 + j2.933) = V_1\angle \delta$$

$$V_2' + 33.3\angle -41.4^\circ * 3.028\angle 75.6^\circ = 1200\angle \delta$$

$$V_2' + 100.836\angle 34.2^\circ = 1200\angle \delta$$

$$V_2' + 83.399 + 56.678 = 1200 \cos \delta + j1200 \sin \delta$$

$$56.678 = 1200 \sin \delta$$

$$\sin \delta = \frac{56.678}{1200} = 0.0472$$

$$\delta = 2.707^\circ$$

$$V_2' + 83.399 = 1200 \cos \delta$$

$$V_2' = 1115.26 V$$

$$R\% = \frac{1200 - 1115.26}{1115.26} * 100 = 7.59\%$$

$$\eta\% = \frac{V_2 I * 0.75}{V_1 I \cos(41.4 + 2.707)} * 100\% = 97.078\%$$

### 5.3 Un transformador de 5kVA, 2300/230V, 60Hz

| C.A   | C.C  |
|-------|------|
| 230V  | 142V |
| 1.01A | 1am  |
| 40W   | 110W |

a) Circuito equivalente en p.u

b) Si la corriente y el voltaje secundario se mantienen en sus valores nominales, determine el factor de potencia de la carga para máxima regulación. Calcule a 20°C

#### Solución

##### C.A

$$Y\varphi = \frac{1.01}{230} = 4.3913 * 10^{-3} (S)$$

$$G = \frac{40}{230^2} = 7.5314 * 10^{-4} (S)$$

$$\beta_m = \sqrt{Y\varphi^2 - G^2} = 4.3257 * 10^{-3} (S)$$

$$Y_{base} = \frac{I_{N2}}{V_{N2}} = \frac{S_N/V_{N2}}{V_{N2}} = \frac{S_N}{(V_{N2})^2} = \frac{5000}{230^2} = 0.0945 (S)$$

$$Y\varphi_{p.u} = (8 - j45.77) * 10^3$$

##### C.C

$$I_{N1} = \frac{5000}{2300} = 2.1739A$$

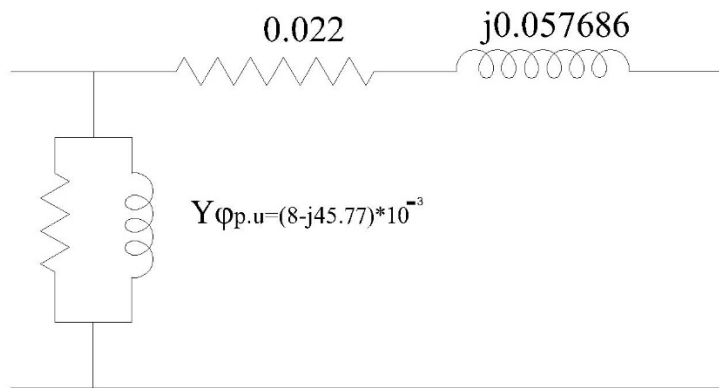
$$Z = \frac{142}{2.1739} = 65.32\Omega$$

$$R = \frac{110}{2.1739^2} = 23.276\Omega$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = 61.032\Omega$$

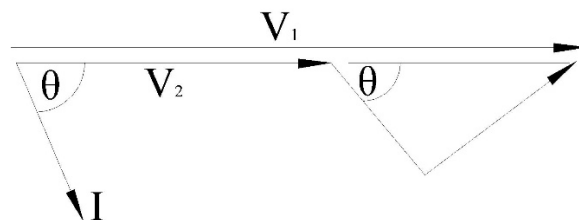
$$Z = 23.276 + j61.032 = 65.32\angle 64.12^\circ$$

$$Z_{p.u} = 0.022 + j0.057686 = 0.06174\angle 69.12^\circ$$



$$I_{N_2} = \frac{5000}{230} = 21.739 \text{ A}$$

$$V_{N_2} = 230$$



$$V_2' + \bar{I}_1 \angle -\theta \approx V_1$$

$$2300 + 21.739 \cdot 65.32 = V_1$$

$$V_1 = 2442 \text{ V}$$

$$R\% = \frac{2442 - 2300}{2300} \cdot 100$$

$$R\% = 6.17\%$$

$$fp = \cos 69.12$$

$$fp = 0.356 \text{ en atraso}$$

# SOLUCIONARIO

## CAPÍTULO 1

1.1. Un flujo de  $6,5 \cdot 10^6$  líneas concatena una bobina de una espira. El flujo se anula en 0,125s. la bobina cerrada tiene una resistencia de 0,05 ohmios, calcular:

- c) El valor medio de la fem generada en la espira.
- d) La corriente media que circula por la espira.

Datos:

$$\Phi = 6,5 \cdot 10^6 \text{ Líneas}$$

1 espira

$$t = 0,125 \text{ s}$$

$$R = 0,05 \Omega$$

$$\text{a) } E_{\text{med}} = \frac{\Phi}{t} * 10^{-8}$$

$$E_{\text{med}} = \frac{6,5 \cdot 10^6 \text{ Líneas}}{0,125 \text{ s}} * 10^{-8}$$

$$E_{\text{med}} = 0,52 \text{ V}$$

Por la ley de ohm:

$$\text{b) } E_{\text{med}} = R_a * I_{\text{med}}$$

$$I_{\text{med}} = \frac{E_{\text{med}}}{R_a}$$

$$I_{\text{med}} = \frac{0,52 \text{ V}}{0,05 \Omega}$$

$$I_{\text{med}} = 10,4 \text{ A}$$

1.2. Un solo conductor de 1m de longitud se mueve perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 25000 gauss (maxwells/cm<sup>2</sup>) a una velocidad uniforme de 25 m/s. Calcular:

- c) La fem instantánea inducida en el conductor.
- d) La fem media inducida en el conductor.

Datos:

$$L = 1\text{m} = 100\text{cm}$$

$$B = 25000 \text{ maxwells/cm}^2$$

$$V = 25\text{m/s} = 2500\text{cm/s}$$

a) Fem instantánea.

$$e = Blv \cdot 10^{-8}$$

$$e = (25000\text{maxwells/cm}^2)(100\text{cm})(2500 \text{ cm/seg}) \cdot 10^{-8} \text{ V}$$

$$e = 62,5\text{V}$$

b) Fem media.

$$e_{\text{med}} = e_{\text{inst}}$$

$$e_{med} = \frac{\phi}{t} * 10^{-8} [V * seg/lineas]$$

$$e_{med} = \frac{(25\ 000)(100)(2\ 500)}{1\ seg} * 10^{-8}$$

$$e_{med} = 62.5 [V]$$

**1.3. Un conductor de 24 pulgadas de longitud se mueve a una velocidad de 12 pulgadas/minutos a través del entrehierro de un imán permanente en forma de U que tiene un flujo de 50000 línea. La sección transversal de los polos del imán es la de un cuadrado de 4 pulgadas de lado. Suponiendo que el flujo no se dispersa, calcular:**

- c) La fem inducida en el conductor cuando se desplaza perpendicularmente al campo magnético (con un ángulo de 90°).**  
**d) La fem inducida en el conductor cuando se desplaza con un ángulo de 75° con respecto al campo magnético.**

**Datos:**

$$l = 24\ pulg$$

$$v = 12\ pulg/min$$

$$\Phi = 50000\ lineas$$

$$A = 24\ pulg \times 4\ pulg$$

$$e_a = ? (90^\circ)$$

$$e_b = ? (75^\circ)$$

$$\Phi = B \cdot A$$

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

$$B = \frac{50000\ lineas}{24 \times 4\ pulg^2}$$

$$B = 520,83\ lineas/pulg$$

$$a) \quad e_a = \frac{1}{5} [Blv \text{ Sen } \theta] x 10^{-8}$$

$$e_a = \frac{1}{5} \left[ 520,83 \frac{lineas}{pulg^2} (24\ pulg) \left( 1 \frac{Pie}{min} \right) \text{ Sen } 90 \right] x 10^{-8}$$

$$e_a = 25\ \mu V$$

$$b) \quad e_b = \frac{1}{5} [Blv \text{ Sen } \theta] x 10^{-8}$$

$$e_b = \frac{1}{5} \left[ 520,83 \frac{lineas}{pulg^2} (24\ pulg) \left( 1 \frac{Pie}{min} \right) \text{ Sen } 75 \right] x 10^{-8}$$

$$e_a = 24,15\ \mu V$$

**1.4. El generador homopolar de Michael Faraday (véase la figura 1 adjunta) es un disco de 12 pulgadas de diámetro en un campo de 80000lineas/pulg<sup>2</sup>. El disco se hace girar manualmente a 60 rpm. El eje tiene un diámetro de 1pulg. Calcular la tensión inducida en el borde exterior del eje y el del disco. (Sugerencia: Calcular la velocidad lineal media.)**

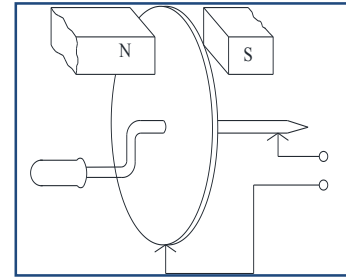
**Datos:**

**Diámetro = 12 pulgadas**

$$\beta = 80\,000 \frac{\text{lineas}}{\text{pulg}^2}$$

$$\omega = 60 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 6.28 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

**Diámetro del eje = 1 pulgada.**



**SOLUCIÓN:**

$$v_{\text{disco}} = \omega r = 6.28 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} * 6 \text{ pulg} = 37.68 \frac{\text{pulg}}{\text{seg}}$$

Figura 1. Generador homopolar de Michael Faraday

$$v_{\text{eje}} = (\omega r) 6.28 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} (0.5 \text{ pulg.}) = 3.14 \frac{\text{pulg}}{\text{seg}}$$

$$v_{\text{promedio}} = \frac{1}{2} (v_{\text{disco}} - v_{\text{eje}}) = \frac{1}{2} \left[ 37.68 \frac{\text{pul}}{\text{seg}} - 3.14 \frac{\text{pul}}{\text{seg}} \right] = 17.27 \frac{\text{pulg}}{\text{seg}} \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} = 1.4391 \frac{\text{pie}}{\text{seg}}$$

$$e_{\text{ins}} = \frac{1}{5} (\beta * l * v) * 10^{-8} [V] = \frac{1}{5} \left[ \frac{80000 \text{ lineas}}{\text{pulg}^2} \right] (6 \text{ pulg}) \left[ 1.4391 \frac{\text{pie}}{\text{seg}} \right] \left[ \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right] * 10^{-8} [V]$$

$$e_{\text{ins}} = 0.08289V \approx 0.083V$$

**1.5. La componente vertical del campo magnético terrestre es de 0.645 gauss en las proximidades de una locomotora que viaja hacia el sur a una velocidad de 60 millas/h. Los raíles y el eje de la locomotora tienen una separación de 6 pies. Calcular:**

- e. La fem inducida en los de cada juego de ruedas.
- f. La fem media medida en los raíles producida en el problema 1-5a.
- g. La polaridad de los raíles Este y oeste, respectivamente.
- h. Trazar la escala de un velocímetro eléctrico desde cero hasta una velocidad máxima de 80 millas / hora utilizando un voltímetro.

Datos:

$$B = 0.645 \text{ gauss} = 0.645 \frac{\text{maxwell}}{\text{cm}^2}$$

$$6 \text{ pie} \frac{30.48 \text{ cm}}{1 \text{ pie}} = 182.88 \text{ cm}$$

$$L = 6 \text{ pies}$$

$$60 \frac{\text{millas}}{\text{h}} * \frac{160934.4 \text{ cm}}{1 \text{ millas}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sg}} = 2682.24 \frac{\text{cm}}{\text{sg}}$$

$$v = 60 \frac{\text{millas}}{\text{pie}}$$

a)  $e = Blv * 10^{-8}$

$$e = 0.645 \frac{\text{maxwell}}{\text{cm}^2} * 182.88 \text{ cm} * 2682.24 \frac{\text{cm}}{\text{sg}} * 10^{-8}$$

$$e = 3,16 \text{ mv}$$

$$e_{\text{med}} = \frac{\Phi}{t} * 10^{-8}$$

$$e_{\text{med}} = \frac{0.645 \frac{\text{maxwell}}{\text{cm}^2} * (182.88 \text{ cm} * 2682 \frac{\text{cm}}{\text{sg}})}{1} * 10^{-8}$$

$$e_{\text{med}} = 3.16 \text{ mv}$$



b)

c) En los raíles este va a ser positiva (+) y en los raíles oeste va hacer negativo (-), según el plano.

$$d) \quad 80 \frac{\text{millas}}{\text{h}} * \frac{160934.4\text{cm}}{1 \text{ millas}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{seg}} = 3576.32 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

$$e = Blv * 10^{-8}$$

$$e = 0.645 \frac{\text{maxwell}}{\text{cm}^2} * 182.88\text{cm} * 3576.32 \frac{\text{cm}}{\text{sg}} * 10^{-8}$$

$$e = 4,218 \text{ mv}$$

**1.6. La tensión inducida en un conductor que se desplaza en un campo magnético uniforme es de 25 v cuando la velocidad es de 60 cm/s. Calcular la fem inducido cuando:**

**d) El flujo se incremente en un 15%.**

**e) La velocidad se reduce en un 30%.**

**f) La velocidad se incrementa en un 20% y el flujo se reduce en un 10%.**

**Datos**

$$\text{voltaje} = 25\text{V}$$

$$\text{velocidad} = \frac{60\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\emptyset = 0.15 \text{ lineas}$$

a) El flujo incrementa en un 15%

$$E_{\text{med}} = \emptyset / t * 10^{-8}$$

$$\emptyset = E_{\text{med}} * t$$

$$\emptyset = 25 \text{ V}(1\text{seg}) * 10^{-8}$$

$$\emptyset = 25 * 10^8 \text{ lineas} \leftarrow 0,15\% = 3.75 * 10^{-8} \text{V}$$

$$\frac{\emptyset}{t} = E$$

$$E = \frac{\emptyset}{t} = \frac{3.75 * 10^{-8} * 10^{-8}}{1\text{seg}}$$

$$E = 3.75\text{V} + 25\text{V} = 28.75\text{V}$$

b) la velocidad disminuye en un 30%

c) velocidad incrementa 20% y flujo reduce 10%

$$e = B * l * v * 10^{-8}$$

$$\emptyset_{\text{total}} = 25 * 10^8 \text{ lineas} \leftarrow (100 - 10) \% = 90\%$$

$$B = \frac{e}{l \cdot v} \times 10^8$$

$$B = \frac{25v}{l \cdot v} \times 10^8$$

$$B = \frac{25v}{60\text{cm} \cdot \frac{60\text{cm}}{\text{seg}}} \times 10^8$$

$$B = 694444.44$$

$$e = B \cdot l \cdot v \times 10^{-8}$$

$$e = 69.4444.44(60\text{cm}) \left( \frac{42\text{cm}}{\text{seg}} \right) \times 10^{-8} \text{ V}$$

$$e = 17.5\text{V}$$

$$\emptyset = 25 \times 10^8 * 0.90\% = 22.5 \times 10^8 \text{ lineas}$$

$$v = \frac{60\text{cm}}{\text{seg}} \leftarrow 100\%$$

$$v = \frac{60\text{cm}}{\text{seg}} * 0.20\% = \frac{12\text{cm}}{\text{seg}} \leftarrow 20\%$$

$$v = \left( \frac{12\text{cm}}{\text{seg}} + \frac{60\text{cm}}{\text{seg}} \right) = \frac{72\text{cm}}{\text{seg}} \leftarrow (20 + 100)\%$$

$$v = 120\%$$

$$B = \frac{e}{l \cdot v} \times 10^8$$

$$B = \frac{22.5v}{(60\text{cm} \cdot \frac{60\text{cm}}{\text{seg}})} \times 10^8$$

$$B = 625,000$$

$$e = B \cdot l \cdot v \times 10^{-8}$$

$$e = 625,000 \times \left( 60\text{cm} \times \frac{72\text{cm}}{\text{seg}} \right) \times 10^{-8} [\text{V}]$$

$$e = 27\text{V}$$

**1.7. El flujo por polo de un generador bipolar es de  $10 \cdot 10^6$  líneas. Se acciona a la velocidad de 1500rpm. Para inducir una tensión de 20v/bobina, calcular:**

- d. El tiempo necesario para completar una revolución y un cuarto de revolución (el tiempo para que el flujo varíe de cero al máximo por polo).**
- e. El número de espiras en serie por bobina, utilizando la ecuación (1.1)**
- f. Comprobar el problema 1-8b utilizando la ecuación (1.2)**

Datos:

$$\Phi = 10 \cdot 10^6 \text{ lineas}$$

$$S = 1500 \text{ rpm}$$

$$E = 20 \text{ v/bobina}$$

$$W = 1500 * \frac{\text{revoluciones}}{\text{minutos}} * \frac{\text{minutos}}{60 \text{ segundos}} = 25 \text{ RPS}$$

**a)**

$$\text{Tiempo de una revolución} \frac{t}{\text{rev}} = \frac{1}{1500} \text{ min/rev}$$

$$\frac{60\text{seg}}{\text{min}} = \frac{1}{1500} \frac{\text{min}}{\text{rev}} = 0,04\text{seg/rev}$$

$$t = 0.04\text{seg}$$

$$\frac{E_{\text{med}}}{\text{Bobina}} = \frac{\Phi}{t} * 10^{-8}$$

**Despejando (t)**

$$t = \frac{\Phi}{E_{\text{med}}} * 10^{-8} * \text{bobina}$$

$$t = \frac{10 * 10^6}{20} * 10^{-8} * 2$$

**b)**

$$E_{\text{media}/\text{bobina}} = \frac{\Phi}{t} * 10^{-8}$$

$$\left( E_{\text{media}/\text{bobina}} \right) * (t) = (\Phi)(N) * 10^{-8}$$

$$N = \frac{(E_{\text{med}})(t)}{\Phi * 10^{-8}}$$

$$N = \frac{(20V)(0.01\text{seg})}{10 * 10^6 * 10^{-8}}$$

$$N = 2 \text{ espiras/bobina}$$

$$t = 0.01 \text{ seg}$$

c)

$$W_{med/bobina} = 4\Phi NS * 10^{-8} \text{ Voltios.}$$

$$\frac{W_{med/bobina}}{4\Phi S * 10^{-8}} = N$$

$$N = \frac{W_{med/bobina}}{4\Phi S * 10^{-8}}$$

$$N = \frac{20 \text{ voltios}}{4(10 * 10^6)(25 \text{ rps}) * 10^{-8}}$$

$$N = \frac{20 \text{ espiras}}{10 \text{ bobina}}$$

$$N = 2 \text{ espiras/bobina}$$

1.8. El flujo por polo de un generador tetrapolar es  $10 \times 10^6$  líneas. Es accionada con una velocidad de 1500 rpm. Para incluir una tensión de 20 v/bobina, calcular:

- e. El tiempo necesario para completar un octavo de vuelta (tiempo preciso para que el flujo varíe a un máximo por polo).
- f. El número de espiras en serie utilizando las ecuaciones (1-1) y (1-5) respectivamente.
- g. Explicar la diferencia entre las espiras en serie requeridas en los problemas 1-8 y 1-9, respectivamente.
- h. El número de conductores entre escobillas que se precisan para generar 120v.

a)

$$1500 \text{ rpm}$$

$$1500 \text{ rev} = 60 \text{ seg}$$

$$1/8 \text{ rev} = t$$

$$t = \frac{60 \text{ seg}}{1500} = \frac{60 \text{ seg}}{12000}$$

$$t = 5 \times 10^{-3} \text{ seg}$$

$$t = 5 \text{ ms}$$

$$\text{b) } \Phi = P \times \Phi/\text{polos} = 4 \times 10 \times 10^6 \text{ líneas/polos}$$

$$\text{Tiempo de una revolución, } t/\text{rev} = 1 \text{ min}/1500 \text{ rev}$$

$$t = \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{1500 \text{ rev}}$$

$$t = 0.04 \text{ seg/rev}$$

$$E_{med} = \frac{\Phi}{t} \times 10^{-8} \text{ v}$$

$$E_{med} = \frac{4 \times 10 \times 10^6}{0.04 \text{ seg/rev}} \times 10^{-8} \text{ v} \quad s = \frac{S}{60} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ rps}$$

$$E_{med} = 10 \text{ voltios}$$

$$E_{med} = 4 \times 10 \times 10^6 \times 10^{-8} \text{ v}$$

$$N = \frac{E_{med}}{4 \Phi S \times 10^{-8}} = \frac{10}{4 \times (10 \times 10^6) \times (25 \text{ rps}) \times (10^{-8})}$$

$$N = 1 \text{ espira}$$

e) En el problema 1.7 el flujo es bipolar y en problema 1.8 es tetrapolar

f)

$$E_g = \frac{\Phi Z S P}{60a} \times 10^{-8} \text{ v}$$

$$Z = \frac{E_g 60a}{\Phi S P \times 10^{-8}} = \frac{120 \times 60 \times 4 \text{ ramas}}{(4 \times 10 \times 10^6)(1500 \text{ rpm})(4 \text{ polos}) \times 10^{-8}}$$

$$Z = \frac{28800}{2400}$$

$$Z = 12 \text{ conductores}$$

## CAPÍTULO 2

2.1. Un generador de c.c. derivación de 50 kw y 250 V tiene una resistencia de circuito de excitación de 62.5 ohmios, una caída de tensión en las escobillas de 3v y resistencia de inducido de 0,025 ohmios. Calcular, cuando se suministra la corriente nominal a la velocidad y tensión nominales:

a. las corrientes de carga de excitación y de inducido.

b. la tensión generada en el inducido

Datos

$$P = 50kW$$

$$V_a = 250 V$$

$$R_f = 62.5\Omega$$

$$V_e = 3V$$

$$R_a = 0,025\Omega$$

**SOLUCIÓN:**

a)

$$I_L = \frac{50KW}{250V}$$

$$I_L = 200 A$$

$$I_f = \frac{250 V}{62.5 \Omega}$$

$$I_f = 4 A$$

$$I_a = I_L + I_f$$

$$I_a = 200A + 4 A$$

$$I_a = 204 A$$

b)

$$E_g = V_a + V_e + I_a(R_a)$$

$$E_g = 250 V + 3V + 204 A(0,025\Omega)$$

$$E_g = 253V + 5.1 V$$

$$E_g = 258.1 V$$

**2.2. Un generador serie de c.c. de 10kW y 250 V tiene una caída en las escobillas de 2 V una resistencias del circuito de inducido de 0,1Ω y una resistencia de excitación serie de 0,05Ω. Cuando suministra la corriente nominal a la velocidad nominal, calcular:**

- a. La corriente en el inducido.
- b. La tensión generada en el inducido.

Datos:

$$P = 10 \text{ kW}$$

$$V = 250 \text{ V}$$

$$V_{\text{escobillas}} = 2 \text{ V}$$

$$R_a = 0.1 \text{ } \Omega$$

$$R_s = 0.05 \text{ } \Omega$$

$$I_a = ?$$

$$E_g = ?$$

a)

$$I_L = \frac{P}{V_L} = \frac{10 \text{ kW}}{125} = 80 \text{ Amperios}$$

$$I_L = I_a$$

$$I_a = 80 \text{ A}$$

b)

$$E_g = ?$$

$$V_L = V_a = 125[V]$$

$$E_g = V_a + R_a I_a$$

$$E_g = 125 + 80 (R_s + R_a)$$

$$E_g = 125 + 80 (0.1 + 0.05)$$

$$E_g = 137[V]$$

**2.3. Un generador compound con derivación larga de 100KW y 600V presenta una caída de tensión en las escobillas de 5V, una resistencia de la excitación serie de 0.02Ω y una resistencia de inducido de 0.04Ω. Cuando suministra la corriente nominal a la velocidad nominal de 1200 rpm, calcular:**

- c. La corriente en el inducido.
- d. La tensión generada en el inducido.

Datos

$$P = 100 \text{ KW}$$

$$V = 600 \text{ V}$$

$$V_{ec} = 5 \text{ V}$$

$$R_f = 0.02 \text{ } \Omega$$

$$R_d = 200 \text{ } \Omega$$

$$R_a = 0.04 \text{ } \Omega$$

$$S = 1200 \text{ rpm}$$

$$I_a = ?$$

$$E_g = ?$$

$$a) \quad I_L = \frac{P}{V} = \frac{100 \text{ KW}}{600 \text{ V}} = 166.66 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f + R_d} = \frac{600 \text{ V}}{200.04} = 2.99 \text{ A}$$

$$I_a = I_f + I_L = 2.99 + 166.66 = 169.66 \text{ A}$$

$$I_a = 169.66 \text{ A}$$

$$b) \quad V_a = E_g - (I_s R_s + I_a R_a)$$

$$V_a = E_g - [(166.66)(0.02) + (169.66)(0.09)]$$

$$E_g = 600 + 18.60$$

$$E_g = 618.69 [V]$$

**2.4. Un generador con excitación independiente presenta una tensión en vacío de 125V con una corriente de excitación de 2,1 A cuando se acciona a la velocidad de 1600rpm. suponiendo que está funcionando sobre la parte recta de su curva de saturación, calcular:**

- c) La tensión generada cuando la corriente de excitación aumenta hasta 2,6A.  
d) La tensión generada cuando la velocidad se reduce a 1450rpm y la corriente de excitación aumenta hasta 2,8A.**

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$Z = \frac{125}{2,1}$$

$$Z = 59,52\Omega$$

$$V_a = Z * I$$

$$V_a = 59,52 * 2,8$$

$$V_a = 166.656V$$

**a)**

$$E = Z * I$$

$$E = 59,52 * 2.6$$

$$E = 154.75V$$

**b)**

$$\frac{V_f}{V_a} = \frac{S_f}{S_a}$$

$$V_f = 166.656 \frac{1450}{1600}$$

$$V_f = 151.03[V]$$

**2.5. La corriente de excitación derivación de un generador de c.c. de 60kw y 125v ha de elevarse desde 3,5 a 4.0 A para producir un compoundaje normal desde el vacío hasta plena carga, respectivamente. Cada polo de excitación tiene 1500 espiras. Calcular:**

- c. El número de espiras de excitación serie por polo, suponiendo una conexión en derivación corta.  
d. repetir el punto (a) suponiendo una conexión en derivación larga**

Datos:

$$P = 60kW$$

$$V_a = 125 V$$

$$I_{f \text{ vacio}} = 3.5A$$

$$I_{f \text{ carga}} = 4.0A$$

$$N = 1500 \text{ Espiras}$$

**SOLUCIÓN:**

$$I_l = \frac{kW * 1000}{V_l}$$

$$I_l = \frac{60 * 1000}{125}$$

$$I_l = 480 A$$

**Derivación corta**

$$I_{a \text{ vacio}} = I_l + I_{f \text{ vacio}}$$

$$I_{a \text{ vacio}} = 480A + 3.5A$$

**a)**

$$N_{\text{corta}} = \frac{N}{I_l + I_{a \text{ vacio}}}$$

$$N_{\text{corta}} = \frac{1500}{480A + 483.5A}$$

$$I_{a_{vacio}} = 483.5A$$

$$N_{corta} = 1.56 \frac{\text{espira}}{\text{polo}}$$

**Derivación larga**

**b)**

$$I_{a_{carga}} = I_l + I_{f_{carga}}$$

$$N_{larga} = \frac{N}{I_l + I_{a_{carga}}}$$

$$I_{a_{carga}} = 480A + 4A$$

$$N_{larga} = \frac{1500}{480A + 484A}$$

$$I_{a_{carga}} = 484A$$

$$N_{larga} = 1.55 \frac{\text{espira}}{\text{polo}}$$

**2.6. Un generador de 30 KW y 250 V produce una tensión generada en el inducido a fin de proporcionar la salida nominal cuando la corriente de excitación es de 1,5 A. Calcular:**

- c. La resistencia del circuito de excitación para producir la tensión en bornes nominal**
- d. La resistencia del circuito de inducido (despréciase la caída de tensión en las escobillas)**

Datos:

$$P = 30 \text{ KW}$$

$$V_L = 250 \text{ V}$$

$$I_f = 1.5 \text{ A}$$

$$R_f = ?$$

$$R_a = ?$$

**SOLUCIÓN:**

$$P = V \cdot I$$

$$I_L = \frac{P}{V_L}$$

$$I_L = \frac{30 \text{ KW}}{250 \text{ V}}$$

$$I_L = 120 \text{ A}$$

**a)**

$$V_L = I_f \cdot R_f$$

$$R_f = \frac{V_L}{I_f}$$

$$R_f = \frac{250 \text{ V}}{1.5 \text{ A}}$$

$$R_f = 166.7 \Omega$$

**b)**

$$I_a = I_f + I_L$$



$$I_a = 1.5 \text{ A} + 120 \text{ A}$$

$$I_a = 121,5 \text{ A}$$

Derivación

$$(V_a = V_f = V_L)$$

$$R_a = \frac{V_a}{I_a}$$

$$R_a = \frac{250 \text{ V}}{121,5 \text{ A}}$$

$$R_a = 2.057 \Omega$$

**2.7. Un generador compound de c.c. de 125 V funciona como generador compound normal a la velocidad nominal de 1200rpm. Suponiendo que no hay variación en la excitación, discutir el efecto sobre el compoundaje si:**

**c. La velocidad aumenta hasta 1500 rpm**

**d. La velocidad se reduce a 1000 rpm.**

$$\frac{E_{final}}{E_{orig}} = \frac{S_{sinal}}{S_{orig}}$$

**a)**

*Si aumenta de 1500 rpm*

$$E_{final} = \left(\frac{S_{sinal}}{S_{orig}}\right) E_{orig}$$

$$E_{final} = \left(\frac{1500}{1200}\right) (125)$$

$$E_{final} = 156.25 \text{ V}$$

**b)**

*Si reduce a 1000 rpm*

$$E_{final} = \left(\frac{S_{sinal}}{S_{orig}}\right) E_{orig}$$

$$E_{final} = \left(\frac{1000}{1200}\right) (125)$$

$$E_{final} = 104.16 \text{ V}$$

Se dice que a compoundaje normal será necesario elevar la tensión desde E1 a E3, como la corriente y los amperios vueltas.

En velocidades reducidas (1000rpm) son beneficiosas para la regulación de tensión (104.16V), pero no para el rendimiento ya que una excitación fuerte causas mayores pérdidas en el cobre de la excitación, y también a una tensión reducida determina sobrecalentamiento por esta razón existe una deficiencia en la ventilación de la maquinas por lo que es recomendable trabajar a velocidad nominal.

### **En conclusión**

- Si se aumenta la velocidad tiene como consecuencia un estado de menor saturación
- Si se reduce la velocidad se aumenta la saturación del circuito magnético.

### CAPÍTULO 3

3.1. El rotor de un motor trifásico de inducción de 60hz, 4 polos, consume 120Kw a 3Hz. Calcular:

- c) La velocidad del rotor
- d) La pérdida de cobre en el rotor

**Datos:**

F=60Hz

#=4polos

P=120Kw a 3Hz

|                                |                                      |                         |                             |
|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|                                | <b>a)</b>                            | <b>b)</b>               |                             |
| $n_s = \frac{f \cdot 120}{p}$  | $f_r = S \cdot f_e$                  | $n = n_s (1 - s)$       | $P_{cu} = s \cdot P_m$      |
| $n_s = 60 \cdot \frac{120}{4}$ | $S = \frac{f_r}{f_e} = \frac{3}{60}$ | $n = 1800rpm(1 - 0.05)$ | $P_{cu} = 0.05 \cdot 120Kw$ |
| $n_s = 1800rpm$                | <b>S = 0.05</b>                      | <b>n = 1710rpm</b>      | <b>P<sub>cu</sub> = 6Kw</b> |

3.2. Un motor trifásico de inducción de 4 polos es energizado por una fuente de 60Hz se encuentra trabajando en condiciones de carga tales que el deslizamiento es 0.03. Calcular:

- d) La velocidad del rotor en rpm
- e) La frecuencia de corriente de rotor en Hz
- f) La velocidad e campo magnético giratorio del rotor respectivo a la armadura del estator en rpm. En condiciones de reposo

**Datos:**

P=4 polos

F= 60Hz

S=0.03

$$n_s = \frac{f \cdot 120}{p}$$

$$n_s = 60 \cdot \frac{120}{4}$$

$$n_s = \mathbf{1800rpm}$$

**a)**

$$n = n_s (1 - s)$$

$$n = 1800rpm(1 - 0.03)$$

$$n = \mathbf{1746rpm}$$

**b)**

$$f_r = s \cdot f_e$$

$$f_r = 0.03 \cdot 60Hz$$

$$f_r = \mathbf{1.8 Hz}$$

**c)**

$$n = n_s(1 - s)$$

$$n = 1800rpm(1 - 1)$$

$$n = \mathbf{0rpm}$$

3.3. Un generador tipo PM de C.C, 240V y 40A, está especificado para una velocidad de 2000RPM. La resistencia del devanado de la armadura es de  $0.4\Omega$ . La pérdida por rotación es de 10% de la potencia que desarrolla, el generador a plena carga, si el generador opera en la zona lineal. Determine:

- d) El voltaje sin carga
- e) La regulación de voltaje
- f) El torque aplicado y

PM = Imanes permanentes

$$P_o = 240 * 40 = 9600RPM$$

$$P_{cu} = 40^2 * 0.4 = 640W$$

$$P_d = P_o + P_{cu} = 10240W = E_a I_a$$

a)

$$E_a = \frac{10240}{40} = 256V$$

b)

$$RV\% = \frac{256 - 240}{240} * 100 = 6.67\%$$

c)

$$P_{in} = P_d + 0.1P_d = 11264W$$

$$P_{in} = T_s w_m$$

$$w_m = \frac{2000 * 2\pi}{60} = \frac{200\pi}{3}$$

$$T_s = \frac{P_{in}}{w_m} = \frac{11264}{\frac{200\pi}{3}} = 53.78Nm$$

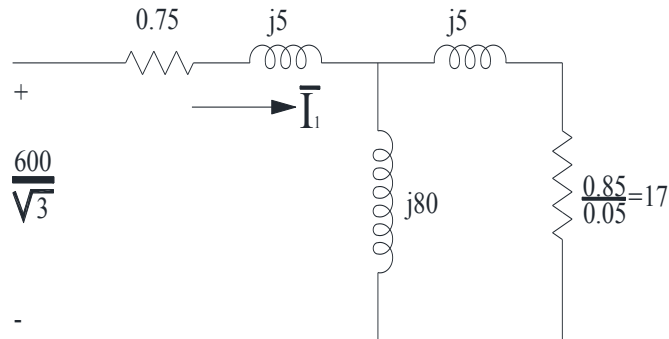
3.4. Un motor de inducción trifásica, 8 polos, 600V, 60Hz, presenta los siguientes parámetros por fase

$$r_1 = 0.75\Omega \quad x_1 = x_2' = 5\Omega$$

$$r'_2 = 0.85\Omega \quad x_m = 80\Omega$$

a. Calcular para  $S=5\%$ ,  $I$ ,  $P_o$ ,  $\eta\%$ ,  $T$  despreciando las perdidas

b. Para  $S=5\%$ , en que rango debe cambiar la frecuencia para una velocidad mínima de 600RPM y para esa condición encontrar  $I$ ,  $P_o$ ,  $\eta\%$ ,  $T$  despreciando la perdidas



a)

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{17 + j5} + \frac{1}{j80}} + 0.75 + j5 = 15.23 + j12.6$$

$$Z_{eq} = 19.767 \angle 39.6^\circ$$

$$\bar{I} = \frac{\frac{600}{\sqrt{3}}}{19.767 \angle 39.6^\circ} = 17.524 \angle -39.6^\circ$$

$$P_i = 3 * \frac{600}{\sqrt{3}} * 17.524 \cos 39.6 = 14.03 kW$$

$$P_g = P_i - (3 * 17.524^2 * 0.75) = 13.34 kW$$

$$P_d = (1 - 0.05)P_g = 12.675 kW$$

$$n_s = \frac{120 * 60}{8} = 900$$

$$P_o = P_d = 16.99 HP$$

$$\omega_s = \frac{900 * 2\pi}{60} = 30\pi$$

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} * 100 = 90.30\%$$

$$T = \frac{P_o}{(1 - s)\omega_s} = \frac{12673}{(1 - 0.05)30\pi} = 141.54 Nm$$

b)

$$(1 - s)n_s = 600$$

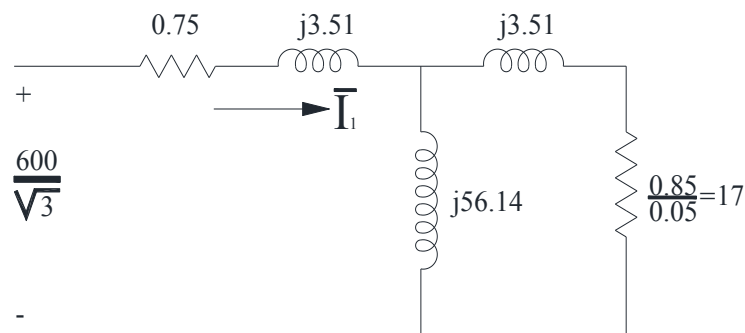
$$n_s = \frac{600}{0.95} = 631.58 \text{ RPM}$$

$$n_s = \frac{120f}{P(\text{poles})}$$

$$f = \frac{n_s P}{120} = \frac{631.58 * 8}{120} = 42.1 \text{ Hz}$$

$$X_1 = X_2' = \frac{42.1}{60} * 5 = 3.51 \Omega$$

$$X_m = \frac{42.1}{60} * 80 = 56.14 \Omega$$



$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{17 + j3.51} + \frac{1}{j56.14}} + 0.75 + j3.51 = 14.677 + j10.78$$

$$Z_{eq} = 18.21 \angle 36.3^\circ$$

$$\bar{I} = \frac{\frac{600}{\sqrt{3}}}{18.21 \angle 36.3^\circ} = 19.02 \angle -36.3^\circ$$

$$P_i = 3 * \frac{600}{\sqrt{3}} * 19.02 \cos 36.3 = 15.929 \text{ kW}$$

$$P_g = P_i - (3 * 19.02^2 * 0.75) = 15.715 \text{ kW}$$

$$P_d = (1 - 0.05)P_g = 14.359 \text{ kW} = 19.25 \text{ HP}$$

$$\eta\% = \frac{P_d}{P_i} * 100 = 90.15\%$$

$$T = \frac{P_o}{(1 - s)W_s} = \frac{14359}{(1 - 0.05)60\pi} = 80.27 \text{ Nm}$$

**3.5. Motor de inducción trifásico, jaula de ardilla, 4 polos, 125kW, 60Hz, Y, 2300V tiene una resistencia entre 2 bobinas del estator de 2.23 Ω, en vacío: I=7.7A y P=2870W**

**Rotor bloqueado**

$$V=268V$$

$$I=50.3A$$

$$P=18.2kW$$

$$Pr=2W$$

**Encontrar el circuito equivalente**

**Prueba en vacío**

$$I = 7.7A$$

$$V = \frac{2300}{\sqrt{3}} = 1327.9053V$$

$$P = \frac{2870}{3} = 956.67W \quad P_{rc} = 956.67 * \frac{2}{3} = 956W$$

$$R_c = \frac{V^2}{P} = \frac{1327.9056^2}{956} = 1844.49\Omega$$

$$S = VI = 1327.9053 * 7.9 = 10224.873$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(10224.873^2 - 953.67^2)}$$

$$Q = 10180.02$$

$$X_m = \frac{V^2}{Q} = \frac{1327.956^2}{10180.02} = 173.228\Omega$$

**Prueba a rotor bloqueado**

$$V = \frac{268}{\sqrt{3}} = 154.73V$$

$$I = 50.3A$$

$$P = \frac{18200}{3} = 6066.67W$$

$$Z = \frac{154.73}{50.3} = 3.076\Omega$$

$$R = \frac{6066.67}{50.3^2} = 2.3978\Omega$$

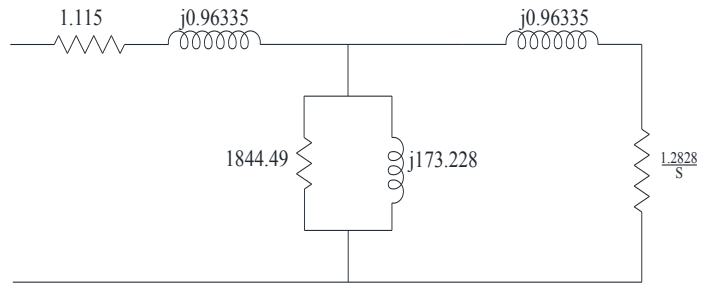
$$x = \sqrt{3.076^2 - 2.3978^2} = 1.9267\Omega$$

$$R = R_1 + R_2$$

$$R_1 = \frac{2.23}{2} = 1.115$$

$$R_2 = 2.3978 - 1.115 = 1.2828\Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X}{2} = 0.96335\Omega$$





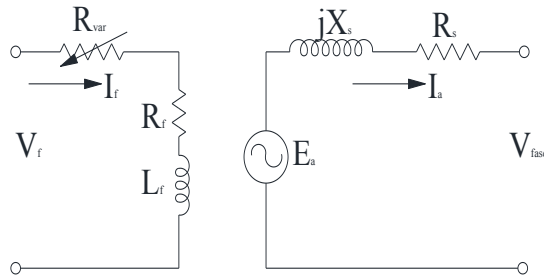
## CAPÍTULO 4

4.1 Se tiene un alternador trifásico (cuyos datos de placa son de 500KVA, 1100V, 60Hz) conectado en estrella con impedancia sincrónica por fase de  $Z_s = 0.1 + 1.2j$ . Calcular el voltaje para los siguientes casos:

3. Factor de potencia unitario, considerando:
  - a. 100% de la corriente nominal
  - b. 75% de la corriente nominal
  - c. 50% de la corriente nominal
4. Factor de potencia de 0.9 en adelante, considerando los incisos a. b. y c. anteriores.

### Solución

1. Para encontrar la R.V ( regulación del voltaje)  
Primero dibujamos el circuito equivalente por fase:



2. Calculamos el voltaje de fase:

$$V_\phi = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$V_\phi = \frac{1100}{\sqrt{3}} = 635.08 \text{ V}$$

3. Encontramos la corriente de línea :

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3}V_L} = \frac{500000}{\sqrt{3}(1100)} = 262.43 \text{ A}$$

4. Según el dato del problema el tipo de conexión es estrella

IL = IF ( corriente de línea = a la corriente a la de fase).

1a) Consideramos el dato del problema factor de potencia unitario con el 100% de la corriente nominal

$$V_R = \frac{V_{IV} - V_{Ipc}}{V_{Ipc}}$$

$$V_{Ipc} = 1100V$$

El voltaje en vacío de la maquina se puede calcular a partir de la expresión  $V_\emptyset = E_a - I_a(R_a + jX_s)$  de donde

$$\begin{aligned} E_a &= V_\emptyset + I_a(R_a + jX_s) \\ &= 635.08\angle 0^\circ + (262.43\angle 0^\circ)(0.1 + 1.2j) \\ &= 661.32 + 314.92j \\ &= 732.47\angle 25.46^\circ V \end{aligned}$$

$$V_{IV} = \sqrt{3}E_a = 1268.67V$$

$$V_R = \frac{(1268.62 - 1100)}{1100} * 100\% = 15.33\%$$

1b) factor de potencia unitario con el 75% de la corriente nominal

El 75% de la corriente nominal es igual a 196.82A, por tanto

$$\begin{aligned} E_a &= V_\emptyset + I_a(R_a + jX_s) \\ &= 635.08\angle 0^\circ + (196.82\angle 0^\circ)(0.1 + 1.2j) \\ &= 654.76 + 236.18j \\ &= 696.054\angle 19.83^\circ V \end{aligned}$$

$$V_{IV} = \sqrt{3}E_a = 1205.6V$$

1c) factor de potencia unitario con el 50% de la corriente nominal

El 50% de la corriente nominal es igual a 131.215A, por tanto

$$\begin{aligned}
E_a &= V_\phi + I_a(R_a + jX_s) \\
&= 635.08\angle 0^\circ + (131.215\angle 0^\circ)(0.1 + 1.2j) \\
&= 648.2 + 157.46j \\
&= 667.05\angle 13.65^\circ V \\
V_{IV} &= \sqrt{3}E_a = 1155.36V \\
V_R &= \frac{1155.36 - 1100}{1100} * 100\% = 5.03\%
\end{aligned}$$

2a) factor de potencia con 0.9 en adelanto y 100% de la corriente nominal

$$V_{ipc} = 1100 \text{ Volts}$$

Factor de potencia 0.9  $\cos \phi$  t por tanto existe un ángulo de desfase  $\theta = 25.84$

$$\begin{aligned}
E_a &= V_\phi + I_a(R_a + jX_s) \\
&= 635.08\angle 0^\circ + (262.43\angle 25.84^\circ)(0.1 + 1.2j) \\
&= 521.44 + 294.87j \\
&= 599.039\angle 29.48^\circ V \\
V_{IV} &= \sqrt{3}E_a = 1037.56V \\
V_R &= \frac{1037.56 - 1100}{1100} * 100\% = -5.67\%
\end{aligned}$$

2b) factor de potencia con 0.9 en adelanto y el 75% de la corriente nominal

El 75% de la corriente nominal es igual a 196.82A, por tanto

$$\begin{aligned}
E_a &= V_\phi + I_a(R_a + jX_s) \\
&= 635.08\angle 0^\circ + (196.82\angle 25.84^\circ)(0.1 + 1.2j) \\
&= 549.86 + 221.157j \\
&= 592.86\angle 21.9^\circ V \\
V_{IV} &= \sqrt{3}E_a = 1026.51V \\
V_R &= \frac{1026.51 - 1100}{1100} * 100\% = -6.68\%
\end{aligned}$$

2b) factor de potencia con 0.9 en adelanto y el 50% de la corriente nominal

El 50% de la corriente nominal es igual a 131.215A, por tanto.

$$\begin{aligned}E_a &= V_\emptyset + I_a(R_a + jX_s) \\&= 635.08\angle 0^\circ + (131.215\angle 25.84^\circ)(0.1 + 1.2j) \\&= 578.26 + 147.43j \\&= 596.75\angle 14.3^\circ V\end{aligned}$$

$$V_{IV} = \sqrt{3}E_a = 1033.60V$$

$$V_R = \frac{1033.60 - 1100}{1100} * 100\% = -6.03\%$$

## CAPÍTULO 5

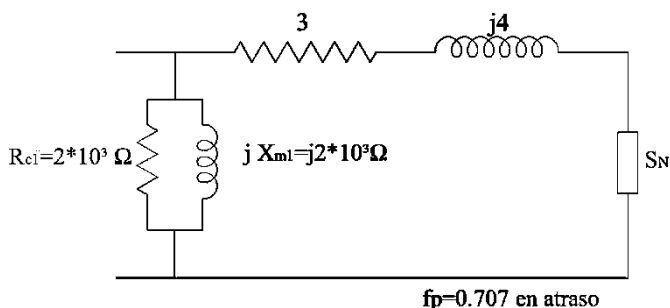
5.1 Un transformador reductor de 2.2kVA, 440/220V, 60Hz tiene los parámetros siguientes referidos al primario.

$$R = 0.75\Omega \quad R_{C1} = 2.5k\Omega$$

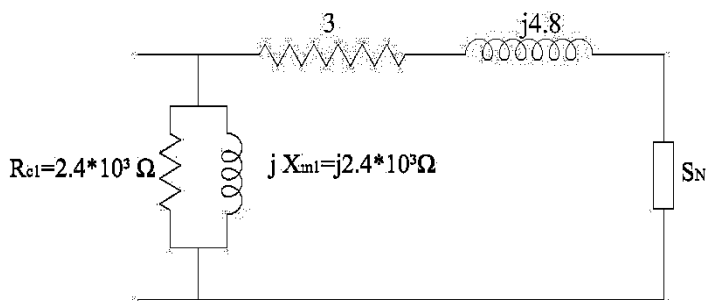
$$x = 4\Omega \quad x_{m1} = 2 K\Omega$$

El transformador se conecta a una fuente de 60Hz y opera a plena carga a un factor de potencia de  $fp=0.707$  en atraso. Determine la frecuencia y la regulación de voltaje del transformador.

**Solución**



A 60Hz



$$X = \omega L = 2\pi fL$$

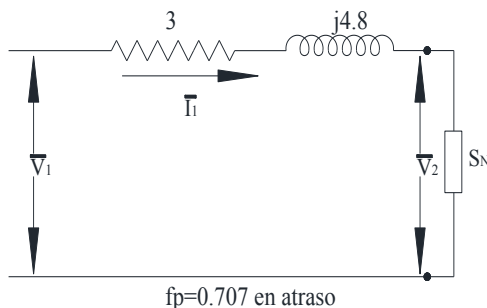
$$X_{50} = 2\pi * 50 * L$$

$$X_{60} = 2\pi * 60 * L$$

$$X_{60} = \frac{60}{50} X_{50} = 4.8$$

$$X_{m60} = \frac{60}{50} * 2 * 10^3 = 2.4 * 10^3$$

Para funcionamiento con carga



$$\bar{I}_1 = \frac{2.2 * 1000}{440} = 5 \angle 45^\circ$$

$$V_2' + \bar{I}_1(3 + j4.8) = 440 \angle \delta$$

$$V_2' + 5 \angle 45^\circ * 5.66 \angle 57.99^\circ = 440(\cos \delta + j \sin \delta)$$

$$V_2' + 28.30\angle 12.99^\circ = 440(\cos \delta + j \sin \delta)$$

$$V_2' + 27.575 + j6.36 = 440 \cos \delta + j440 \sin \delta$$

$$6.36 = 440 \sin \delta$$

$$\sin \delta = 0.0144$$

$$\delta = 0.0824^\circ$$

$$V_2' = 440 \sin \delta - 27.575 = 412.38$$

$$R\% = \frac{440 - 412.38}{412.38} * 100 = 6.697\%$$

$$\eta\% = \frac{V_2 I * 0.707}{V_1 I \cos(45 + 0.828)} * 100\% = 95\%$$

$$\bar{I} = 0.8\angle 25.84^\circ$$

$$\bar{V}_2 + I^2 Z = \bar{V}_1 = V_2 \angle \delta$$

$$V_2 + 0.8 \angle -25.84^\circ * 0.022 \angle 44.22^\circ = \cos \delta + j \sin \delta$$

$$V_2 + 0.0176 \angle 18.58^\circ = \cos \delta + j \sin \delta$$

$$V_2 + 0.0176 + j 5.549 * 10^{-3} = \cos \delta + j \sin \delta$$

$$\sin \delta = 5.549 * 10^{-3}$$

$$\delta = 0.31797^\circ$$

$$V_2 = \cos \delta - 0.0167 = 0.98328$$

$$R\% = \frac{1 - 0.98328}{0.98328} * 100 = 1.7\%$$

$$\eta\% = \frac{V_2 I \cos \theta}{V_2 I \cos(\theta + \delta)} * 100 =$$

$$\eta\% = \frac{0.884925}{0.897582} * 100 = 98.59\%$$

5.2 Transformador reductor trifásico en Y/Δ, 150KVA, 2080/208V, 60Hz consta de 3 transformadores monofásico idénticos. Cada transformados tiene los siguientes parámetros.

$$r_1 = 0.45\Omega \quad r_2 = 4.5m\Omega \quad X_{d1} = 2.2\Omega \quad X_{d2} = 2.2m\Omega$$

$$G = 10^{-4} (S) \quad B_m = \frac{10^{-3}}{8} (S)$$

La carga del transformador es de 120KVA, 90kW en atraso. Determinar:

- e) El voltaje primario del transformador monofásico.
- f)  $\eta\%$
- g)  $R\%$
- h)  $Z\%$  ( $85^\circ C$ )

**Solución**

c) Transformador monofásico

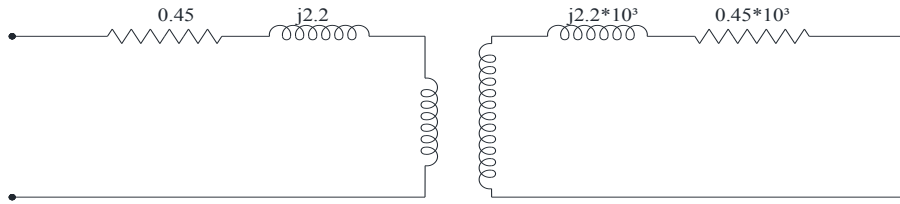
$$S = 50KVA$$

$$\frac{2080}{\sqrt{3}} = 1200.888 V$$

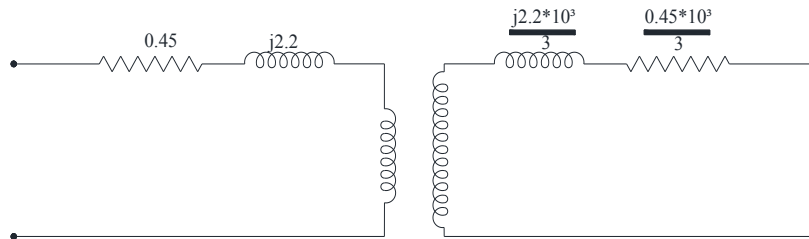
$$1200/208$$

$$a = \frac{1200}{208} = 5.769$$

d) Para el transformador monofásico



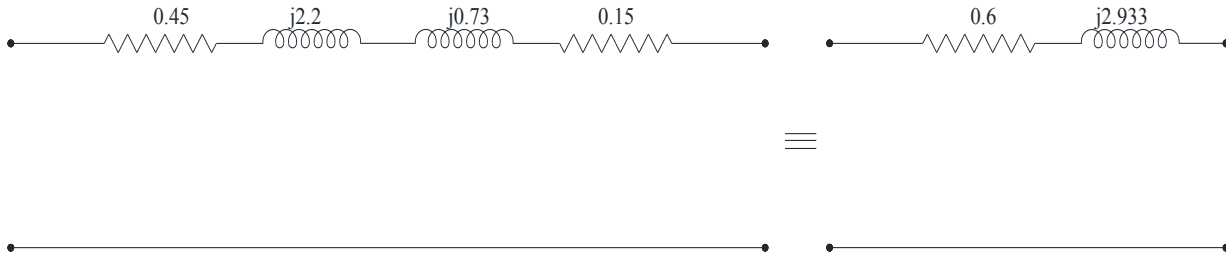
En el transformador trifásico



$$a' = \frac{1200}{208/\sqrt{3}} = 10$$



Referido al primario



$$r'_2 = \frac{4.5 \cdot 10^{-3}}{3} * 100 = 0.45 \quad X'_{d2} = \frac{22 \cdot 10^{-3}}{3} * 100 = 0.73$$

$$Z_{base1} = \frac{V_{N1}}{I_{N1}} = \frac{1200}{150000 / (\sqrt{3} * 2080)} = 28.82$$

A 85° C

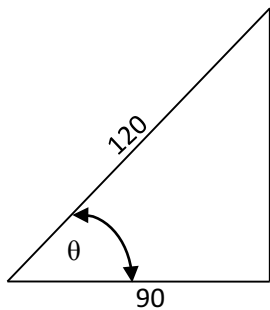
$$R_{85} = 0.6(1 + 0.00393 * 65) = 0.753 \Omega$$

$$Z = 0.753 + j2.933$$

$$Z_{pu} = \frac{0.753 + j2.933}{28.82} = 0.02613 + j0.10177 = 0.105 \angle 75.6^\circ$$

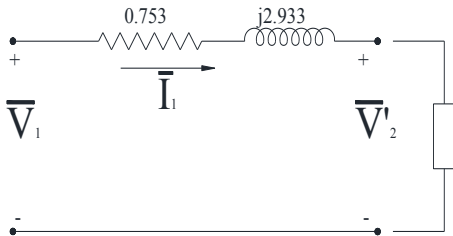
$$Z\%(85^\circ C) = 10.5\%$$

Con carga



$$\cos \theta = \frac{90}{120} = 0.75$$

$$\theta = 41.4^\circ$$



$$S = 100 \text{ KVA} / 3$$

$$Fp = 0.75 \text{ en atraso}$$

$$\bar{I}_1 = \frac{120000 / 3}{1200} = \frac{120000}{\sqrt{3} * 2080} = 33.3 \text{ A}$$

$$\bar{I}_1 = 33.3 \angle -41.4^\circ$$

$$V_2' + 33.3\angle -41.4^\circ(0.753 + j2.933) = V_1\angle\delta$$

$$V_2' + 33.3\angle -41.4^\circ * 3.028\angle 75.6^\circ = 1200\angle\delta$$

$$V_2' + 100.836\angle 34.2^\circ = 1200\angle\delta$$

$$V_2' + 83.399 + 56.678 = 1200 \cos \delta + j1200 \sin \delta$$

$$56.678 = 1200 \sin \delta$$

$$\sin \delta = \frac{56.678}{1200} = 0.0472$$

$$\delta = 2.707^\circ$$

$$V_2' + 83.399 = 1200 \cos \delta$$

$$V_2' = 1115.26 \text{ V}$$

$$R\% = \frac{1200 - 1115.26}{1115.26} * 100 = 7.59\%$$

$$\eta\% = \frac{V_2 I * 0.75}{V_1 I \cos(41.4 + 2.707)} * 100\% = 97.078\%$$

### 5.3 Un transformador de 5kVA, 2300/230V, 60Hz

|              |             |
|--------------|-------------|
| <b>C.A</b>   | <b>C.C</b>  |
| <b>230V</b>  | <b>142V</b> |
| <b>1.01A</b> | <b>Iam</b>  |
| <b>40W</b>   | <b>110W</b> |

- c) *Circuito equivalente en p.u*  
d) *Si la corriente y el voltaje secundario se mantienen en sus valores nominales, determine el factor de potencia de la carga para máxima regulación. Calcule a 20°C*

#### Solución

**C.A**

$$Y_{\phi} = \frac{1.01}{230} = 4.3913 * 10^{-3} (S)$$

$$G = \frac{40}{230^2} = 7.5314 * 10^{-4} (S)$$

$$\beta_m = \sqrt{Y_{\phi}^2 - G^2} = 4.3257 * 10^{-3} (S)$$

$$Y_{base} = \frac{I_{N2}}{V_{N2}} = \frac{S_N / V_{N2}}{V_{N2}} = \frac{S_N}{(V_{N2})^2} = \frac{5000}{230^2} = 0.0945 (S)$$

$$Y_{\phi p.u} = (8 - j45.77) * 10^3$$

**C.C**

$$I_{N1} = \frac{5000}{2300} = 2.1739A$$

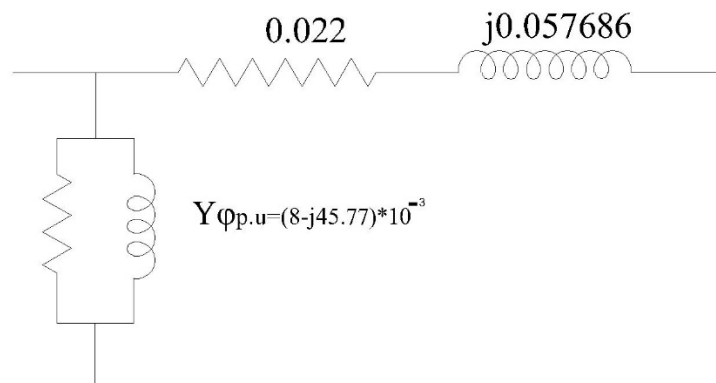
$$Z = \frac{142}{2.1739} = 65.32\Omega$$

$$R = \frac{110}{2.1739^2} = 23.276\Omega$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = 61.032\Omega$$

$$Z = 23.276 + j61.032 = 65.32 \angle 64.12^\circ$$

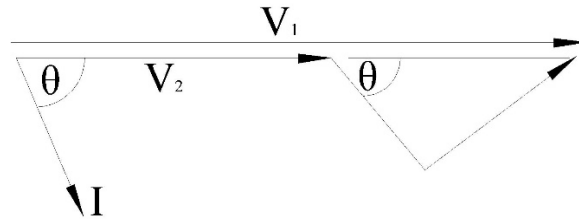
$$Z_{p.u} = 0.022 + j0.057686 = 0.06174 \angle 69.12^\circ$$



b)

$$I_{N_2} = \frac{5000}{230} = 21.739 \text{ A}$$

$$V_{N_2} = 230$$



$$V_2' + \bar{I}_1 \angle -\theta \angle \theta = V_1$$

$$2300 + 2.1739 * 65.32 = V_1$$

$$V_1 = 2442V$$

$$R\% = \frac{2442 - 2300}{2300} * 100$$

$$R\% = 6.17\%$$

$$fp = \cos 69.12$$

$$fp = 0.356 \text{ en atraso}$$

## Bibliografía

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. L. K. Ph.D., MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES, PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A..
- [2] J. F. MORA, MAQUINAS ELECTRICAS, QUINTA EDICION, McGRAW HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2003.
- [3] P. P. y. J. S. Lopez, Maquinas electricas y tecnicas modernas, Alfaomega Grupo editor S.A. de C.V. Mexico., 2008.
- [4] C. K. J. S. D. U. A. E. FITZGERALD, MAQUINAS ELECTRICAS, SEXTA EDICION, McGRAW - HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2003.

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Aislante:** Material no conductor que no permite el paso de la corriente eléctrica.

**Amperímetro:** Instrumento para medir corriente, con una aguja y un elemento móvil que desplaza una aguja.

**Amperio:** Unidad de medida de la corriente eléctrica y representa el número de cargas (coulombs) por segundo que pasan por un punto de un material conductor. (1 Amperio = 1 coulomb/segundo).

**Banco de transformación:** Conjunto de tres transformadores o autotransformadores, conectados entre sí para que operen de la misma forma que un transformador o autotransformador trifásico.

**Barra colectora (bus):** Conductor eléctrico rígido, ubicado en una subestación con la finalidad de servir como conector de dos o más circuitos eléctricos.

**Batería:** Conjunto de unidades similares, en particular una conexión en serie de elementos primarios voltaicos.

**Bloqueo:** Es el medio que impide el cambio parcial o total de la condición de operación de un dispositivo, equipo o instalación de cualquier tipo.

**Bobina:** Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un cilindro sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas.

**Cable:** Conductor formado por un conjunto de hilos, ya sea trenzados o torcidos.

**Cableado:** Circuitos interconectados de forma permanente para llevar a cabo una función específica. Suele hacer referencia al conjunto de cables utilizados para formar una red de área local.

**Caída de tensión:** Es la diferencia entre la tensión de transmisión y de recepción.

**Calidad:** Es la condición de tensión, frecuencia y forma de onda del servicio de energía eléctrica, suministrada a los usuarios de acuerdo con las normas y reglamentos aplicables.

**Caloría:** Unidad equivalente a 4.18 joules.

**Campo Eléctrico:** es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica. Se describe como un campo vectorial en el cual una carga eléctrica puntual de valor  $q$  sufre los efectos de una fuerza eléctrica

**Campo Magnético:** es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos.

**Capacidad:** Medida de la aptitud de un generador, línea de transmisión, banco de transformación, de baterías, o capacitores para generar, transmitir o transformar la potencia eléctrica en un circuito; generalmente se expresa en MW o kW, y puede referirse a un solo elemento, a una central, a un sistema local o bien un sistema interconectado.

**Capacidad de generación:** Máxima carga que un sistema de generación puede alimentar, bajo condiciones establecidas, por un período de tiempo dado.

**Capacidad efectiva:** Carga máxima que puede tomar la unidad en las condiciones que prevalecen y corresponde a la capacidad de placa corregida por efecto de degradaciones permanentes en equipos que componen a la unidad y que inhabilitan al generador para producir la potencia nominal.

**Capacidad instalada:** Potencia nominal o de placa de una unidad generadora, o bien se puede referir a una central, un sistema local o un sistema interconectado.

**Capacitor:** Dispositivo que almacena carga eléctrica y está formado (en su forma más sencilla) por dos placas metálicas separadas por una lámina no conductora o dieléctrico. Estos dispositivos se utilizan, entre otras cosas, para reducir caídas de voltaje en el sistema de distribución. También se le conoce como **condensador**.

**Carga:** Cantidad de potencia que debe ser entregada en un punto dado de un sistema eléctrico.

**Central generadora:** Lugar y conjunto de instalaciones utilizadas para la producción de energía eléctrica. Dependiendo del medio utilizado para producir dicha energía, recibe el nombre correspondiente.



**Central hidroeléctrica:** Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía potencial y cinética del agua.

**Central termoeléctrica:** Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía calorífica del vapor de agua producido en calderas.

**Central eólica:** Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía cinética del viento.

**Central geotérmica:** Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía calorífica del vapor de agua, producido en las entrañas de la tierra.

**Central mareomotriz:** Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía potencial de las mareas.

**Central núcleo-eléctrica:** Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía liberada por vapor de agua. El vapor es producido por el calentamiento del agua en contacto con el proceso de fisión nuclear en un reactor.

**Centro Nacional de Control de Energía (CENACE):** Es la entidad creada por la Comisión Federal de Electricidad para la planificación, dirección coordinación, supervisión y control del despacho y operación del Sistema Eléctrico Nacional.

**Circuito:** El lazo cerrado o camino por el que fluye una corriente eléctrica o un flujo magnético.

**Circuito:** El lazo cerrado o camino por el que fluye una corriente eléctrica o un flujo magnético.

**Condensador:** Elemento de un circuito cuya característica predominante es la CAPACIDAD y el cual almacena energía en su campo eléctrico.

**Conductor:** Cualquier material que ofrezca mínima resistencia al paso de una corriente eléctrica. Los conductores más comunes son de cobre o de aluminio y pueden estar aislados o desnudos.

**Confiabilidad:** Es a habilidad del Sistema Eléctrico para mantenerse integrado y suministrar los requerimientos de energía eléctrica en cantidad y estándares de calidad, tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia de la contingencia sencilla más severa.

**Consumo (gasto):** Cantidad de un fluido en movimiento, medido en función del tiempo; el fluido puede ser electricidad.

**Consumo de energía:** Potencia eléctrica utilizada por toda o por una parte de una instalación de utilización durante un período determinado de tiempo.

**Consumo energético:** Gasto total de energía en un proceso determinado.

**Contingencia:** Anormalidad en el sistema de control de una central, subestación o punto de seccionamiento alternativo instalado en el sistema de la distribución de energía eléctrica.

**Continuidad:** Es el suministro ininterrumpido del servicio de energía a los usuarios, de acuerdo a las normas y reglamentos aplicables.

**Conversión de la energía eléctrica:** Cambio o transformación de parámetros y de la energía eléctrica a través de uno o varios dispositivos.

**Corto circuito:** Una conexión entre dos puntos de un circuito a través de una fuente de energía eléctrica, mediante un camino de baja resistencia.

**Corriente Eléctrica:** Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor; siendo su unidad de medida el amperio y se representan por la letra I.

**Corriente Eléctrica Alterna:** El flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente de sentido. Se le denota como corriente A.C. (Altern current) o C.A. (Corriente alterna).

**Corriente Eléctrica Continua:** El flujo de corriente en un circuito producido siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct current) o C.C. (Corriente continua).

**Coulomb:** Es la unidad básica de carga del electrón. Su nombre deriva del científico Agustín de Coulomb (1736-1806).

**Cuchilla:** Es el instrumento compuesto de un contacto móvil o navaja y de un contacto fijo o receptor. La función de las cuchillas consiste en seccionar, conectar o desconectar circuitos eléctricos sin carga por medio de una pértiga o por medio de un motor.

**Degradación:** Se dice que una unidad está degradada cuando por alguna causa no puede generar la capacidad efectiva.

**Demanda eléctrica:** Requerimiento instantáneo a un sistema eléctrico de potencia, normalmente expresado en megawatts (MW) o kilowatts (kW).

**Demanda máxima bruta:** Demanda máxima de un sistema eléctrico incluyendo los usos propios de las centrales.

**Demanda máxima neta:** Demanda máxima bruta menos los usos propios.

**Eficiencia.** La capacidad de producir los resultados deseados con un mínimo costo de energía, tiempo, dinero o materiales involucrados en un proyecto.

**Electricidad:** Fenómeno físico resultado de la existencia e interacción de cargas eléctricas. Cuando una carga es estática, esta produce fuerzas sobre objetos en regiones adyacentes y cuando se encuentra en movimiento producirá efectos magnéticos.

**Electroimán:** Es la magnetización de un material, utilizando para ello la electricidad.

**Empalme de cable:** La conexión de un cable a otro de manera que la conductividad y el aislamiento en la unión sean de la misma calidad que la de los cables que intervienen.

**Energía:** La capacidad de un sistema para realizar un trabajo es medida en kilovatios. La energía lleva implícita la variable tiempo y se mide en kilowatts hora (kWh) y la potencia (demanda) en kilovatios (kW).

**Energía eléctrica:** Es la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía lumínica o luz, la energía mecánica y la energía térmica.

**Energía hidráulica:** Es la energía desarrollada por el agua al caer.

**Energía mecánica:** se definir como la forma de energía que se puede transformar en trabajo mecánico de modo directo mediante un dispositivo mecánico como una turbina ideal. Las formas familiares de energía mecánica son la cinética y la potencial.

**Energía solar:** Es la energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones de fusión nuclear; esta energía se propaga a través del espacio por las partículas llamadas fotones.

**Flujo magnético:** (representado por la letra griega  $\Phi$ ), es una medida de la cantidad de magnetismo, y se calcula a partir del campo magnético, la superficie sobre la cual actúa y el ángulo de incidencia formado entre las líneas de campo magnético y los diferentes elementos de dicha superficie.

**Fuente de abastecimiento:** Es la que permite que la planta se mantenga en funcionamiento al suplir constantemente el agua con un caudal regulado.

**Fusible:** Un dispositivo que protege un circuito contra los daños debidos a una excesiva circulación de corriente a través de él, mediante la fusión del elemento.

**Generación de Energía:** comprende la producción de energía eléctrica a través de la transformación de otro tipo de energía (mecánica, química, potencial, eólica, etc) utilizando para ello las denominadas centrales eléctricas (termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas, nucleares, etc.).

**Generador:** Dispositivo electromecánico utilizado para convertir energía mecánica en energía eléctrica por medio de la inducción electromagnética, se le llama también ALTERNADOR porque produce corriente alterna.

**Interruptor:** Un dispositivo mecánico o electrónico para cerrar o abrir de manera no automática la corriente de carga de un circuito.

**Kilowatt:** Es un múltiplo de la unidad de medida de la potencia eléctrica y representa 1000 watts. Unidad de potencia-kilo watt= 1000 Watts.

**Kilowatt/hora:** Una medida práctica de energía. Es la energía consumida en una hora cuando la potencia es de 1000 watt.

**Línea de transmisión:** Un sistema de conductores para la transmisión aérea de energía eléctrica desde una estación generadora o una subestación a otras estaciones o subestaciones.

**Motor eléctrico:** El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra, mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas.

**MW.** Unidad de potencia-mega watt= 1 millón de Watts.

**Ohmio:** Unidad de medida de la Resistencia Eléctrica. Y equivale a la resistencia al paso de electricidad que produce un material por el cual circula un flujo de corriente de un amperio, cuando está sometido a una diferencia de potencial de un voltio.

**Potencia.** Medición de energía suplida y demanda. Se expresa en vatios (W) o kilo vatios (kW). Tiene distintas formas como la potencia hidráulica, mecánica y eléctrica.

**Puesta a tierra:** es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas y que consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que el usuario entre en contacto con la electricidad.

**Resistencia Eléctrica:** Se define como la oposición que ofrece un cuerpo a un flujo de corriente que intente pasar a través de sí.

**Sistema de distribución.** Sistema de cables que conecta el punto de generación con las casas.

**Tensión:** también conocida como voltaje o diferencia de potencial, es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (**FEM**) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

**Transformador:** Dispositivo utilizado para elevar o reducir el voltaje. Está formado por dos bobinas acopladas magnéticamente entre sí.

**Transmisión:** comprende la interconexión, transformación y transporte de grandes bloques de electricidad, hacia los centros urbanos de distribución, a través de las redes eléctricas y en niveles de tensión que van desde 115.000 Volts, hasta 800.000 Volt.

**Tubería de presión:** Es el tramo final de la conducción y soporta las máximas presiones internas causadas por el agua.

**Turbina:** Máquina rotativa con la capacidad de convertir la energía cinética de un fluido en energía mecánica. Sus elementos básicos son: rotor con paletas, hélices, palas, etc. Esta energía mecánica sirve para operar generadores eléctricos u otro tipo de máquinas.

**Válvula.** Dispositivo usado para regular el flujo de agua en la tubería de presión.

**Voltio:** Es la unidad de fuerza que impulsa a las cargas eléctricas a que puedan moverse a través de un conductor.

**Voltímetro:** Es un instrumento utilizado para medir la diferencia de voltaje de dos puntos distintos y su conexión dentro de un circuito eléctrico es en paralelo.

**Watt:** Es la unidad de potencia de un elemento receptor de energía (por ejemplo una radio, un televisor). Es la energía consumida por un elemento y se obtiene de multiplicar voltaje por corriente.

Víctor F. Nasimba

Recibió su título de ingeniería en la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE) en la ciudad de Latacunga como Ingeniero Electromecánico en el año de 1997 y actualmente es profesor con méritos en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo desde el año 2010. En este año recibió el premio como mejor docente de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la cual impartió materias como: Circuitos eléctricos, análisis matemático, mecánica de lo cotidiano, electricidad y magnetismo, maquinas eléctricas, iluminación e instalaciones eléctricas, líneas de transmisión, entre otras asignaturas de especialidad de las carreras de Ingeniería Eléctrica, Industrial y Mecánica. En el año 2011 obtuvo el título de Magister Business Administración, el 2018 obtuvo el título de Master en Energías Renovables y Eficiencia Energética, siendo el título de su defensa "Caracterización óptica de recubrimientos basados en micro esferas y evaluación de su aplicación para el control energético ", actualmente labora como docente en la UTEQ. Estos conocimientos en el campo de la administración lo llevo a aplicarlos al campo de la electricidad donde meses después impartió materias como: Análisis de mercados eléctricos, administración de empresas y administración del negocio de la energía eléctrica en la cual se dedicó a investigación. Su juventud la dedico a servir al país enlistándose en el Ejército Nacional y en el año 2006 fue misionero en la Organización de las Naciones Unidas ONU en EE.UU. Además, fue participe del conflicto entre Ecuador y Perú en el alto CENEPa donde salió victorioso de tan aguerido encuentro en el año de 1995. El Ing. Nasimba disfruta de viajar, hacer deportes y pasar el tiempo con sus 3 hijos.

ISBN: 978-9942-33-074-1



**compAs**  
Grupo de capacitación e investigación pedagógica