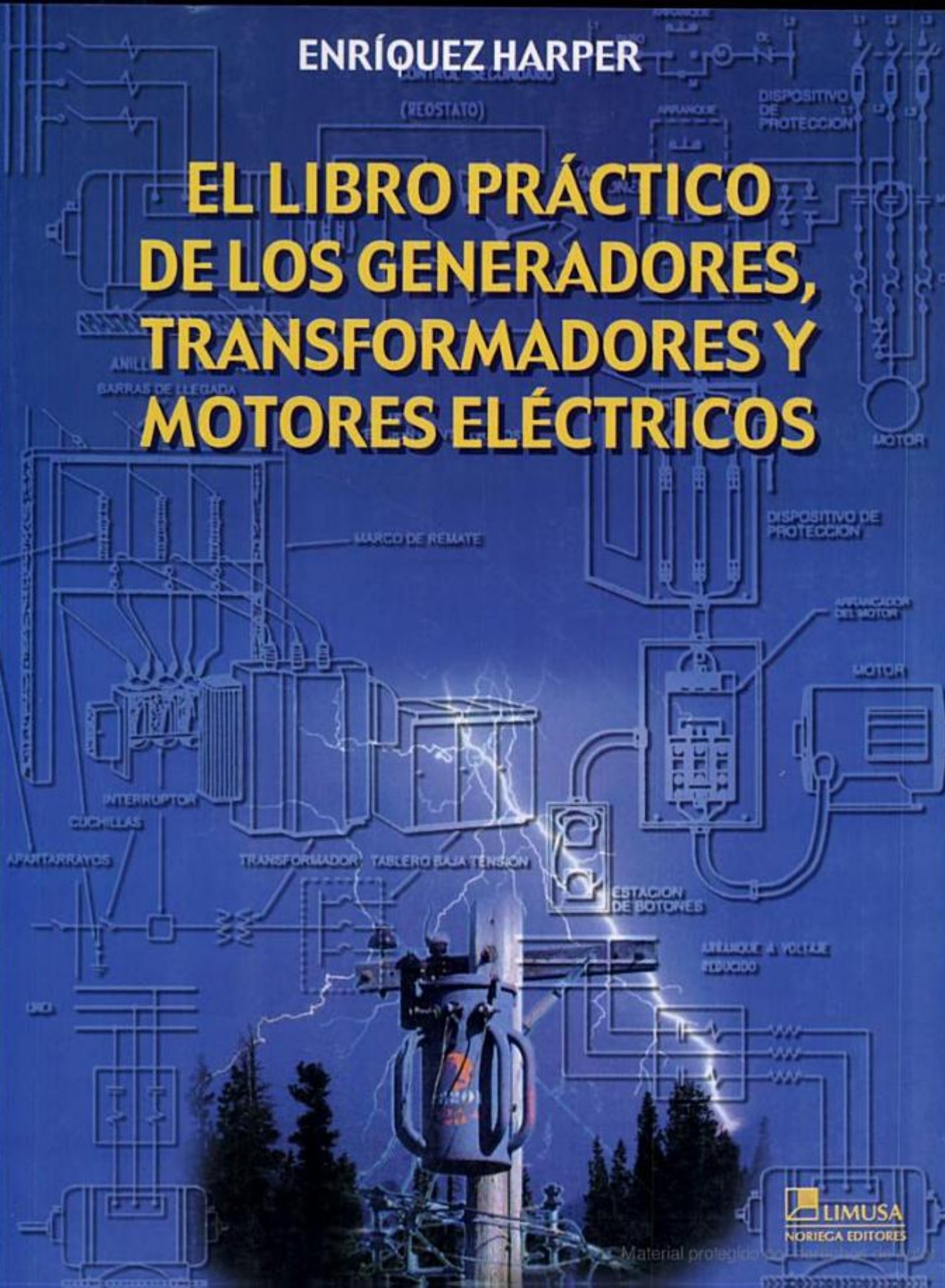


ENRÍQUEZ HARPER

# EL LIBRO PRÁCTICO DE LOS GENERADORES, TRANSFORMADORES Y MOTORES ELÉCTRICOS



**LIMUSA**  
NORIEGA EDITORES

Material protegido por derechos de autor

Enriquez Harper, Gilberto

El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos / Gilberto Enriquez Harper. – México : Limusa, 2004.

252 p. : il. ; 21 cm.

ISBN: 968-18-6053-5

**I. Ingeniería eléctrica II. Electricidad - Generación**

LC:TK145

Dewey: 621.314 dc21

LA PRESENTACIÓN Y DISPOSICIÓN EN CONJUNTO DE

**EL LIBRO PRÁCTICO DE LOS GENERADORES,  
TRANSFORMADORES Y MOTORES ELÉCTRICOS**

SON PROPIEDAD DEL EDITOR. NINGUNA PARTE DE ESTA OBRA PUEDE  
SER REPRODUCIDA O TRANSMITIDA, MEDIANTE NINGÚN SISTEMA O  
MÉTODO, ELECTRÓNICO O MECÁNICO (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO,  
LA GRABACIÓN O CUALQUIER SISTEMA DE RECUPERACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN), SIN CONSENTIMIENTO POR  
ESCRITO DEL EDITOR.

**DERECHOS RESERVADOS:**

© 2004, EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V.  
GRUPO NORIEGA EDITORES  
BALDERAS 95, México, D.F.  
C.P. 06040

 8503 8050  
01(800) 706 9100  
5512 2903  
 limusa@noriega.com.mx  
 www.noriega.com.mx

CANIEM Núm. 121

HECHO EN MÉXICO  
ISBN 968-18-6053-5  
3.1



# Contenido

## CAPÍTULO 1. EL GENERADOR ELÉCTRICO

|                                                                                         | PÁGINA |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| INTRODUCCIÓN.....                                                                       | 1      |
| DEVANADOS Y CAMPOS EN EL GENERADOR.....                                                 | 2      |
| LA FORMA COMO TRABAJAN LOS GENERADORES.....                                             | 3      |
| REGLA DE LA MANO DERECHA PARA GENERADORES.....                                          | 4      |
| LA POTENCIA MECÁNICA.....                                                               | 6      |
| EL VOLTAJE INDUCIDO.....                                                                | 9      |
| LA FRECUENCIA DEL VOLTAJE GENERADO.....                                                 | 17     |
| LOS GENERADORES ELÉCTRICOS EN APLICACIONES INDUSTRIALES Y DE EMERGENCIA.....            | 18     |
| LAS COMPONENTES DE UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA.....                               | 20     |
| VOLTAJE DE SALIDA TRIFÁSICO.....                                                        | 25     |
| LA POTENCIA DE LOS GENERADORES TRIFÁSICOS.....                                          | 26     |
| LA REGULACIÓN DE VOLTAJE.....                                                           | 27     |
| LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.....                                                       | 28     |
| LA EXCITATRIZ DE CORRIENTE DIRECTA.....                                                 | 30     |
| EXCITATRIZ SIN ESCOBILLAS.....                                                          | 31     |
| EXCITATRIZ ESTÁTICA.....                                                                | 32     |
| EL REGULADOR.....                                                                       | 33     |
| DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS GENERADORES PARA PLANTAS DE EMERGENCIA..... | 34     |
| CONEXIÓN EN PARALELO DE GENERADORES.....                                                | 34     |
| PROCEDIMIENTO PARA LA CONEXIÓN EN PARALELO.....                                         | 35     |
| EL SINCRONOSCOPIO.....                                                                  | 35     |

## **CAPÍTULO 2.**

### **LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE TRANSFORMACIÓN**

|                                                                                       | PÁGINA    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUCCIÓN.....                                                                     | 39        |
| EL TRANSFORMADOR ELEMENTAL.....                                                       | 42        |
| PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS.....                       | 45        |
| POTENCIA EN LOS TRANSFORMADORES.....                                                  | 48        |
| <u>LA CONSTRUCCIÓN DEL TRANSFORMADOR.....</u>                                         | <u>51</u> |
| LOS DEVANADOS DEL TRANSFORMADOR.....                                                  | 68        |
| DEVANADOS PARA TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE PEQUEÑA<br>POTENCIA Y BAJA TENSIÓN..... | 68        |
| DEVANADOS PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....                                   | 68        |
| DEVANADOS DE BAJA TENSIÓN.....                                                        | 70        |
| DEVANADOS DE ALTA TENSIÓN.....                                                        | 70        |
| <u>CONEXIONES DE LOS DEVANADOS.....</u>                                               | <u>71</u> |
| CAMBIO EN LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.....                                          | 77        |
| AISLAMIENTOS EN TRANSFORMADORES.....                                                  | 79        |
| MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO.....                                                          | 79        |

## **CAPÍTULO 3.**

### **LAS PRUEBAS A TRANSFORMADORES**

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>INTRODUCCIÓN.....</u>                                                 | <u>87</u> |
| <u>DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES.....</u>         | <u>87</u> |
| <u>MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA.....</u>                            | <u>88</u> |
| MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA EN LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS..... | 92        |

|                                                                                              |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN EL HIERRO O NÚCLEO.....                                     | 94                  |
| <a href="#">LA PRUEBA DE CORTO CIRCUITO.....</a>                                             | <a href="#">101</a> |
| <a href="#">EL DESARROLLO PRÁCTICO DE LA PRUEBA.....</a>                                     | <a href="#">101</a> |
| <a href="#">LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA A TRANSFORMADORES EN LAS<br/>INSTALACIONES.....</a> | <a href="#">108</a> |
| <a href="#">LAS PRUEBAS DIELECTRICAS.....</a>                                                | <a href="#">108</a> |
| <a href="#">LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE.....</a>                             | <a href="#">109</a> |
| DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN EL ACEITE AISLANTE.....                              | 111                 |
| PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.....                                                    | 114                 |
| EL CONCEPTO DE ABSORCIÓN DIELECTRICA.....                                                    | 115                 |
| PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.....                                                       | 121                 |
| RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LA PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.....                      | 122                 |
| CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.....                                                      | 123                 |
| INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.....                    | 125                 |
| PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.....                                                    | 126                 |
| RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PRUEBA DE RELACIÓN DE<br>TRANSFORMACIÓN Y POLARIDAD.....   | 126                 |
| CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.....                                                      | 127                 |
| INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....                                                            | 129                 |
| <a href="#">VERIFICACIÓN DE IMPEDANCIA.....</a>                                              | <a href="#">130</a> |
| SECADO, PURIFICACIÓN Y DEGASIFICACIÓN DEL ACEITE PARA TRANSFORMADORES..                      | 131                 |
| LIMPIEZA DEL ACEITE DE HUMEDAD Y DE IMPUREZAS MECÁNICAS.....                                 | 131                 |
| SEPARACIÓN CENTRÍFUGA.....                                                                   | 131                 |
| <a href="#">FILTRADO.....</a>                                                                | <a href="#">133</a> |
| <a href="#">SECADO DEL ACEITE EN PLANTAS DESHIDRATADORAS DE ZEOLITA.....</a>                 | <a href="#">136</a> |
| DEGASIFICACIÓN DEL ACEITE PARA TRANSFORMADOR.....                                            | 138                 |

**CAPÍTULO 4.****MOTORES ELÉCTRICOS DE  
CORRIENTE ALTERNA****PÁGINA**

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| INTRODUCCIÓN.....                                       | 140        |
| PRINCIPIOS DE OPERACIÓN.....                            | 141        |
| FUNDAMENTOS DE MAGNETISMO.....                          | 141        |
| LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....                      | 142        |
| LA LEY DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY.....    | 144        |
| VOLTAJE INDUCIDO EN UN CONDUCTOR.....                   | 144        |
| <u>LOS MOTORES ELÉCTRICOS.....</u>                      | <u>146</u> |
| POTENCIA Y PAR EN UN MOTOR ELÉCTRICO.....               | 148        |
| CARACTERÍSTICAS PAR-VELOCIDAD DE LOS MOTORES.....       | 149        |
| LOS MOTORES TRIFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA.....        | 149        |
| LA CONSTRUCCIÓN DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN..... | 150        |
| MOTORES DE JAULA DE ARDILLA.....                        | 155        |
| <u>MOTORES DE INDUCCIÓN DE ROTOR DEVANADO.....</u>      | <u>156</u> |
| LOS MOTORES MONOFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA.....       | 159        |
| <u>MOTORES MONOFÁSICOS DE FASE PARTIDA.....</u>         | <u>160</u> |
| ARRANQUE DEL MOTOR.....                                 | 163        |
| USO DEL RELEVADOR DE CORRIENTE.....                     | 164        |
| CONEXIONES DEL MOTOR DE FASE PARTIDA.....               | 166        |
| MOTORES DE ARRANQUE CON CAPACITOR.....                  | 166        |
| MOTORES DE FASE PARTIDA CON CAPACITOR PERMANENTE.....   | 172        |
| MOTORES DE INDUCCIÓN-REPULSIÓN.....                     | 176        |
| MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.....                          | 179        |
| MOTORES UNIVERSALES.....                                | 181        |

## **CAPÍTULO 5.**

# **LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA.**

|                                                         | <b>PÁGINA</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------|
| INTRODUCCIÓN.....                                       | 186           |
| CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE EN LOS MOTORES..... | 190           |
| VARIACIONES DE VOLTAJE Y DE FRECUENCIA.....             | 192           |
| EFFECTO DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE.....              | 192           |
| EFFECTO DE LAS VARIACIONES DE FRECUENCIA.....           | 192           |
| CORRECCIÓN POR ALTITUD.....                             | 193           |
| TIEMPOS PERMISIBLES DE ARRANQUE EN MOTORES.....         | 194           |
| POTENCIA DE SALIDA.....                                 | 194           |
| CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA POR ACCIONAR.....           | 196           |
| VELOCIDAD NOMINAL.....                                  | 196           |
| CARCAZAS DE LOS MOTORES.....                            | 197           |
| FACTOR DE SERVICIO DE UN MOTOR.....                     | 203           |
| TEMPERATURA AMBIENTE.....                               | 203           |
| ELEVACIÓN DE TEMPERATURA.....                           | 205           |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| VELOCIDAD.....                                       | 209 |
| CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA.....                | 209 |
| COSTOS DE OPERACIÓN BAJOS.....                       | 209 |
| <u>MONTAJE.....</u>                                  | 210 |
| <u>EFFECTO DEL CICLO DE TRABAJO.....</u>             | 212 |
| <u>TEMPERATURA AMBIENTE.....</u>                     | 212 |
| <u>VOLTAJE Y CORRIENTE NOMINAL.....</u>              | 213 |
| <u>TIPO DE CARCAZA.....</u>                          | 213 |
| REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO Y ACCESABILIDAD..... | 215 |
| LOS TAMAÑOS COMUNES DE MOTORES.....                  | 215 |

## CAPÍTULO 5.

## LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA.

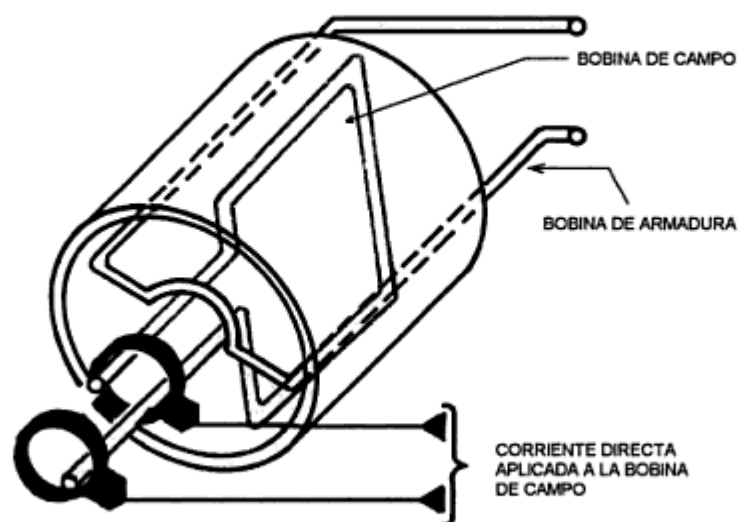
|                                                         | PÁGINA     |
|---------------------------------------------------------|------------|
| INTRODUCCIÓN.....                                       | 186        |
| CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE EN LOS MOTORES..... | 190        |
| VARIACIONES DE VOLTAJE Y DE FRECUENCIA.....             | 192        |
| EFFECTO DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE.....              | 192        |
| EFFECTO DE LAS VARIACIONES DE FRECUENCIA.....           | 192        |
| CORRECCIÓN POR ALTITUD.....                             | 193        |
| TIEMPOS PERMISIBLES DE ARRANQUE EN MOTORES.....         | 194        |
| POTENCIA DE SALIDA.....                                 | 194        |
| CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA POR ACCIONAR.....           | 196        |
| VELOCIDAD NOMINAL.....                                  | 196        |
| CARCAZAS DE LOS MOTORES.....                            | 197        |
| FACTOR DE SERVICIO DE UN MOTOR.....                     | 203        |
| TEMPERATURA AMBIENTE.....                               | 203        |
| ELEVACIÓN DE TEMPERATURA.....                           | 205        |
| <u>CLASIFICACIÓN POR VELOCIDAD.....</u>                 | <u>206</u> |
| <u>MOTORES DE VELOCIDAD CONSTANTES.....</u>             | <u>206</u> |
| <u>MOTORES DE VELOCIDAD VARIABLE.....</u>               | <u>206</u> |
| <u>MOTORES DE VELOCIDAD AJUSTABLE.....</u>              | <u>206</u> |
| <u>MOTORES DE VELOCIDAD AJUSTABLE-VARIABLE.....</u>     | <u>207</u> |
| <u>MOTORES DE MULTIVELOCIDAD.....</u>                   | <u>207</u> |
| <u>SELECCIÓN DE MOTOR DE INDUCCIÓN.....</u>             | <u>207</u> |
| MOTORES DE DISEÑO B.....                                | 209        |
| SELECCIÓN DE MOTOR SÍNCRONO.....                        | 209        |

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| VELOCIDAD.....                                                              | 209        |
| CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA.....                                       | 209        |
| COSTOS DE OPERACIÓN BAJOS.....                                              | 209        |
| MONTAJE.....                                                                | 210        |
| EFFECTO DEL CICLO DE TRABAJO.....                                           | 212        |
| TEMPERATURA AMBIENTE.....                                                   | 212        |
| <u>VOLTAJE Y CORRIENTE NOMINAL.....</u>                                     | <u>213</u> |
| <u>TIPO DE CARCAZA.....</u>                                                 | <u>213</u> |
| REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO Y ACCESABILIDAD.....                        | 215        |
| LOS TAMAÑOS COMUNES DE MOTORES.....                                         | 215        |
| EL EFECTO DE LA CAPACIDAD DE LA ALIMENTACIÓN SOBRE EL TAMAÑO DEL MOTOR..... | 216        |
| ¿QUÉ VELOCIDAD (RPM) SELECCIONAR PARA EL MOTOR?.....                        | 219        |

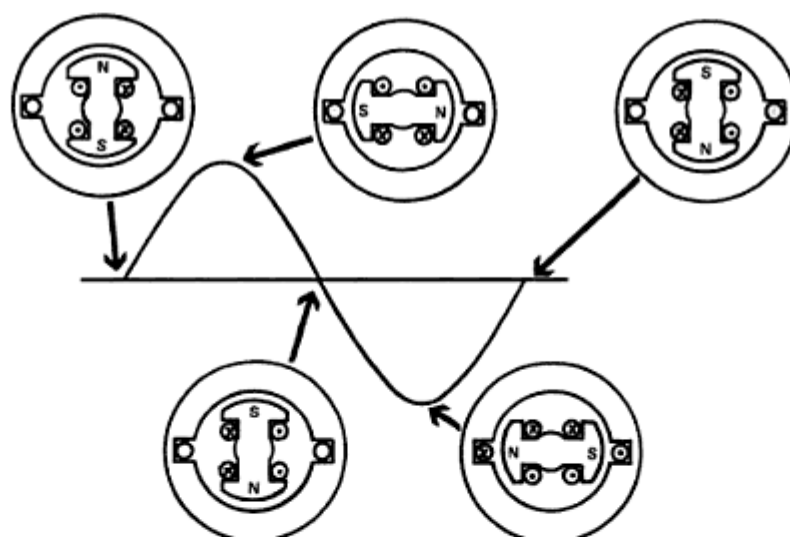
## CAPÍTULO 6.

### PRUEBAS A LOS DEVANADOS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA.

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUCCIÓN.....                                                       | 222 |
| PRUEBAS ELÉCTRICAS A LOS DEVANADOS.....                                 | 224 |
| LAS PRUEBAS DE AISLAMIENTO Y EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELÉCTRICO..... | 238 |
| LAS TÉCNICAS DE PRUEBA DE AISLAMIENTO.....                              | 239 |
| PRUEBA DE AISLAMIENTO DE CORTA DURACIÓN.....                            | 239 |
| LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP).....                   | 241 |
| PRUEBA COMPARATIVA DE PASO DE VOLTAJE.....                              | 242 |



LOS ESLABONAMIENTOS DE FLUJO CAMBIANTE INDUCE UN VOLTAJE EN LA BOBINA DE LA ARMADURA



UN CICLO COMPLETO DE UN CAMPO ROTATORIO DE DOS POLOS PRODUCE UN CICLO DE VOLTAJE DE CORRIENTE ALTERNA

**Ejemplo**

Un generador de dos polos genera un voltaje trifásico de secuencia ABC, suponiendo los datos siguientes:  $B_m = 1.2$  Teslas, longitud de la armadura 0.5 m, si el rotor gira a 1500 r.p.m. y el diámetro interior del núcleo del estator es 0.4 m.

- Determinar la magnitud del voltaje inducido por fase.
- La expresión de los voltajes generados en el dominio de tiempo.

**Solución**

- De la ecuación:

$$E_{\text{máx}} = B_m l w r, \quad w = \frac{2 \pi N}{60}$$

$$E_{\text{máx}} = 1.2 \times (0.5 + 0.5) \times \frac{2 \pi \times 1500}{60} \times \frac{0.4}{2}$$

$$E_{\text{máx}} = 37.7 \text{ V}$$

- Los voltajes generados son senoidales, tomando la **Fase A** como referencia se observa la **Fase B** atrasada  $120^\circ$  eléctricos. (ó  $2 \pi/3$  radianes) y la **Fase C** atrasada con respecto a la **Fase A** por  $240^\circ$  eléctricos (ó  $4 \pi/3$  radianes), la frecuencia es:

$$F = \frac{2 \times N}{120} = \frac{2 \times 1500}{120} = 25 \text{ Hz}$$

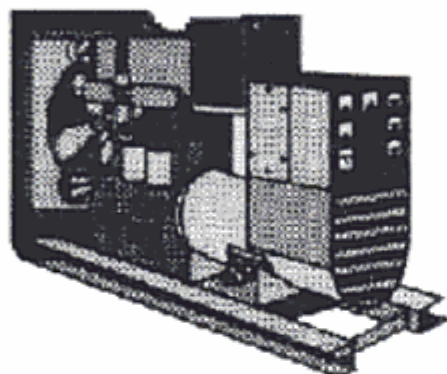
Que representa la frecuencia del voltaje generado, por lo tanto:

$$W = 2 \pi f = \pi \times 50 = 157 \text{ rad/seg}$$

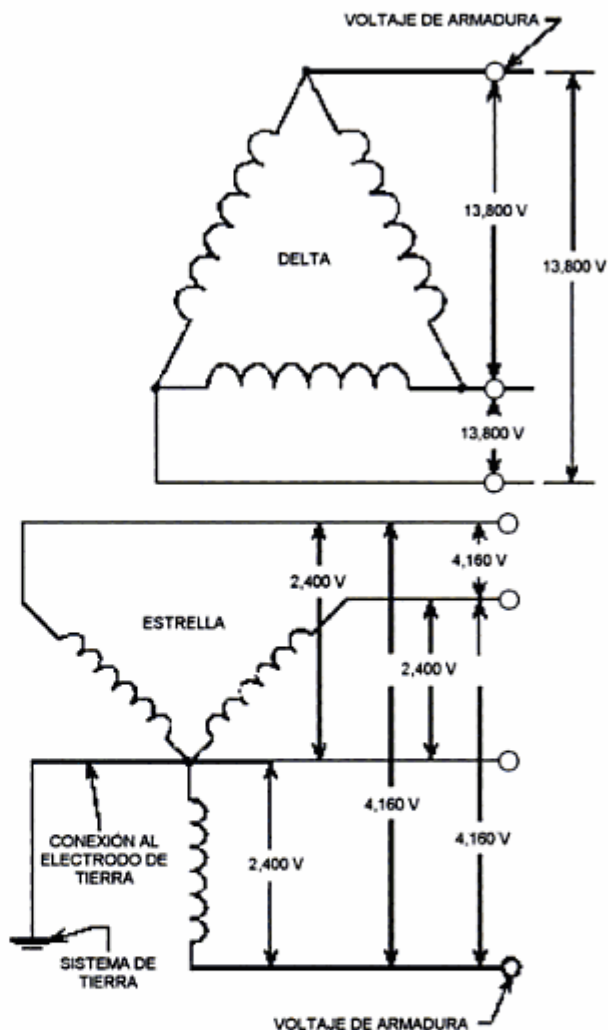
Tomando la Fase A como referencia:

$$e_A = E_{\text{máx}} \sin wt = 37.7 \sin 157 t \text{ V}$$

| GENERADOR TRIFÁSICO |          |
|---------------------|----------|
| ·                   | 2,400 V  |
| ·                   | 4,600 V  |
| ·                   | 12,470 V |
| ·                   | 13,800 V |



NOTA: EL GENERADOR ESTÁ  
OPERANDO A 600 V



### CONEXIONES Y VOLTAJES MÁS USADOS EN LOS GENERADORES DE LAS PLANTAS DE EMERGENCIA

### 1.6.1 LAS COMPONENTES DE UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

Las principales componentes de un generador de corriente alterna, son las que se indican a continuación:

- (1) Estator.
- (2) Rotor.
- (3) Sistema de enfriamiento.
- (4) Excitatriz.
- (5) Conmutador.

#### (1) ESTATOR.

Los elementos más importantes a considerar como parte de las componentes del estator de un generador de corriente alterna, son las siguientes:

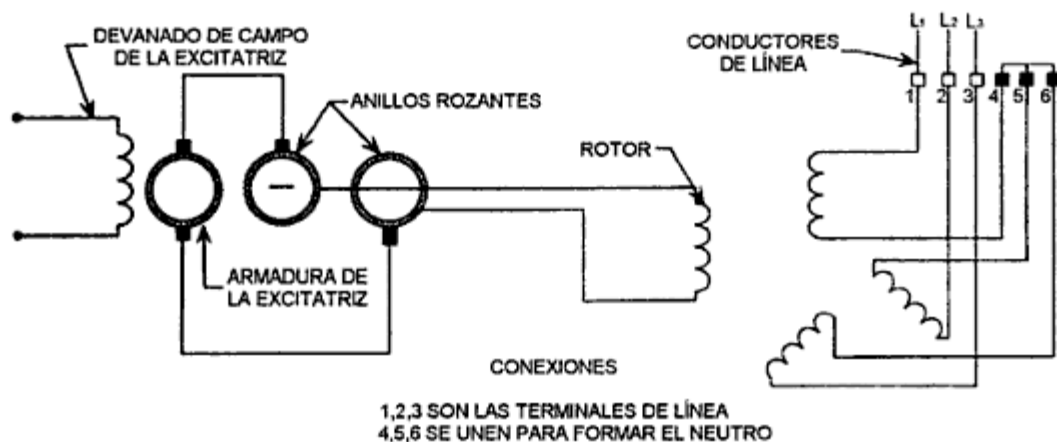
- a) Componentes mecánicas.
- b) Sistema de conexión en estrella.
- c) Sistema de conexión en delta.

a) **Componentes mecánicas.** Las componentes mecánicas de un generador de C.A son las siguientes:

- ⇒ La carcasa.
- ⇒ El núcleo.
- ⇒ Las bobinas.
- ⇒ La caja de terminales.

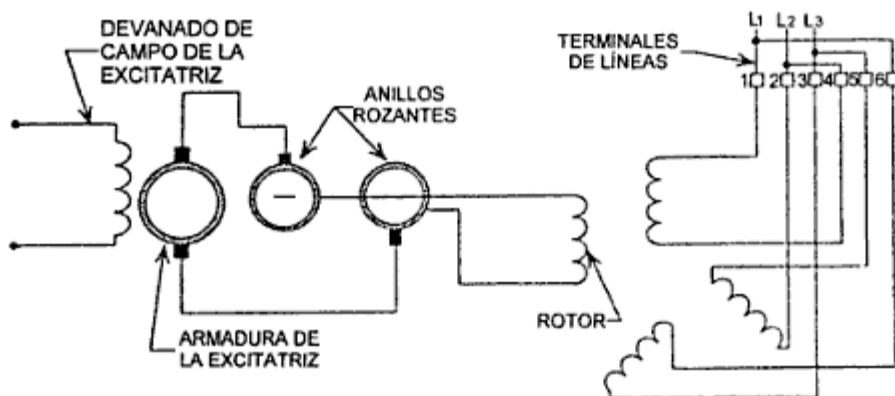
b) **Sistema de conexión en estrella.** Los devanados del estator de un generador de C.A. están conectados generalmente en estrella, en la siguiente figura  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  representan las terminales de línea (al sistema) y  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$  son las terminales que unidas forman el neutro.

## CONEXIÓN ESTRELLA DE UN GENERADOR



## GENERADOR CONECTADO EN ESTRELLA

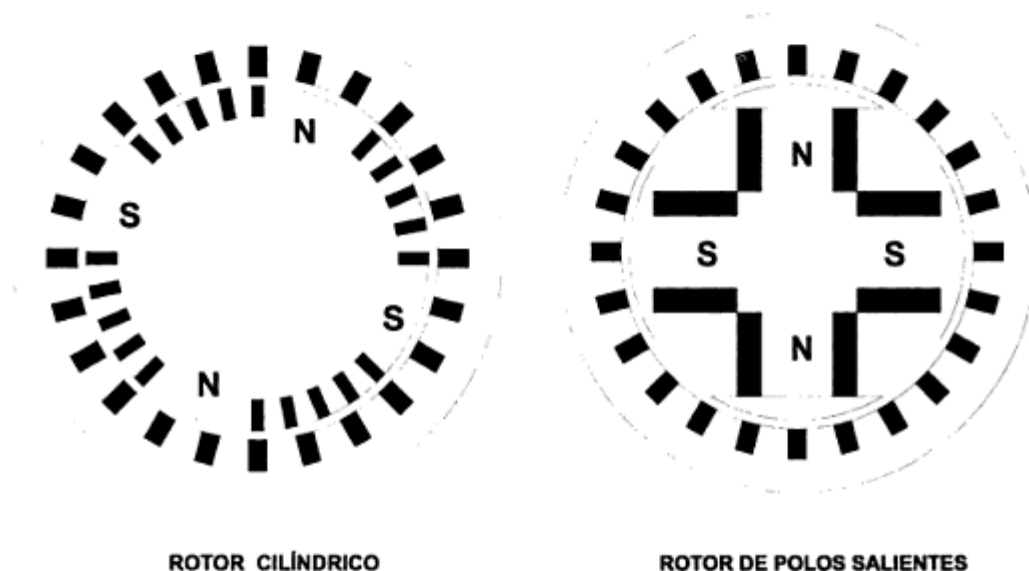
- c) **Sistema de conexión en delta.** La conexión delta se hace conectando las terminales 1 a 6, 2 a 4 y 3 a 5, las terminales de línea se conectan a 1, 2 y 3, con esta conexión se tiene con relación a la conexión estrella, un voltaje menor, pero en cambio se incrementa la corriente de línea.



## GENERADOR CONECTADO EN DELTA

## (2) EL ROTOR.

Para producir el campo magnético sobre el rotor se utilizan polos que consisten de paquetes de laminaciones de hierro magnético (para reducir las llamadas corrientes circulantes) con conductores de cobre arrollados alrededor del hierro, estos polos están excitados por una corriente directa. Los polos del rotor se arreglan por pares localizados o separados  $180^\circ$ . Desde el punto de vista constructivo, los rotores se construyen del tipo polos salientes (baja velocidad) o rotor cilíndrico (alta velocidad).

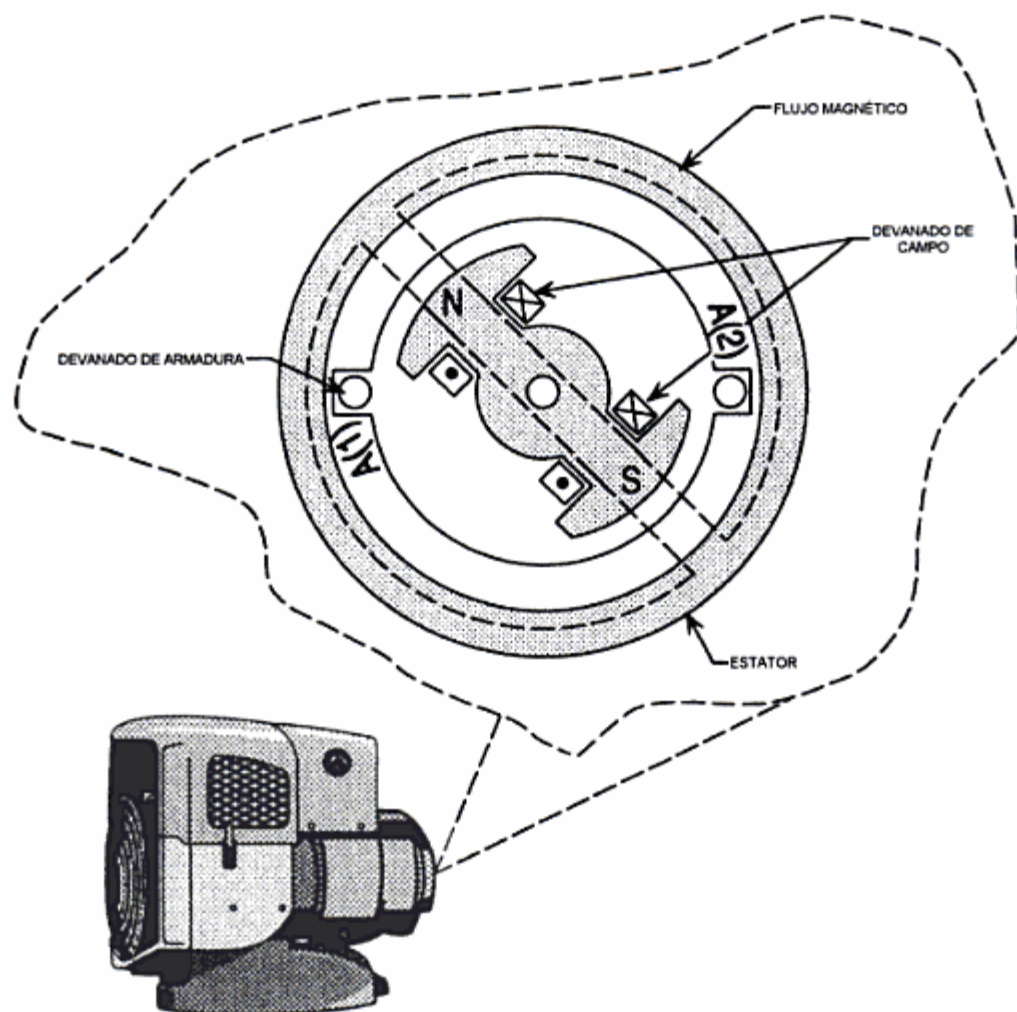


En el rotor se encuentran alojadas las bobinas del devanado de campo que inducen el voltaje en el devanado de armadura, en donde se encuentran las bobinas que determinan si el generador es monofásico o trifásico.

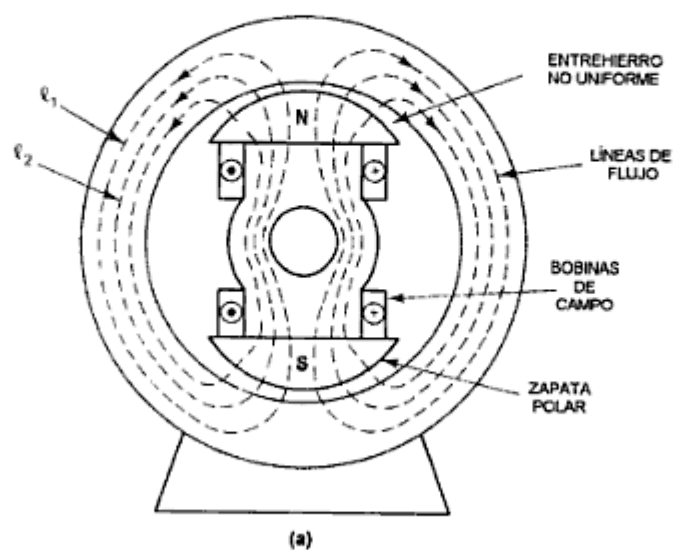
**Voltaje de salida monofásico.** Un generador que tiene un voltaje de salida monofásico, se le conoce como un **generador monofásico**. Este voltaje de salida se obtiene con un conjunto de bobinas de armadura en el estator, si se trata de un generador monofásico de dos polos; entonces, se dice que estos polos son Norte y Sur con conductores que son parte de los conductores de armadura continuos y que llenan las ranuras del estator.

Las ranuras del estator están separadas mecánicamente y eléctricamente por  $180^\circ$ , de modo que en la siguiente figura, cuando el flujo proveniente del polo norte

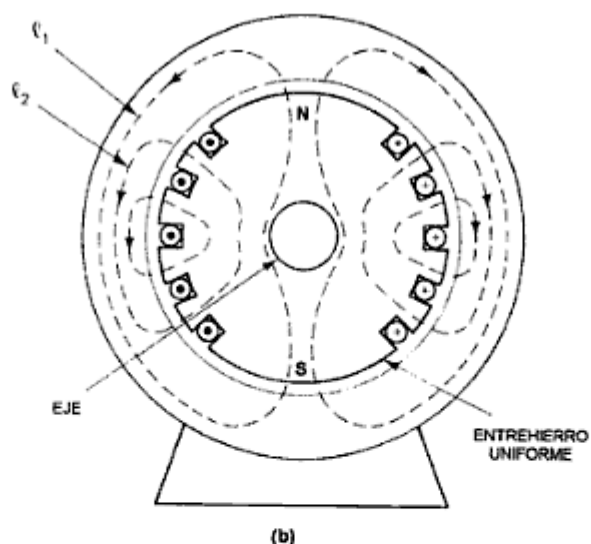
intercepta el lado A(1) del conductor, el flujo que retorna al polo sur intercepta el lado A(2) del conductor, obteniéndose como resultado la generación de un pico de voltaje entre A(1) y A(2). Cuando los polos norte y sur están perpendiculares con respecto al plano de los conductores A(1) y A(2), no hay líneas de fuerza que intercepten los conductores y, entonces, la diferencia de voltaje entre A(1) y A(2) es cero. Cuando el rotor completa una revolución ( $360^\circ$ ) se dice que ha completado un ciclo.



ELEMENTOS DEL ROTOR PARA UN GENERADOR MONOFÁSICO



GENERADOR DE POLOS SALIENTES



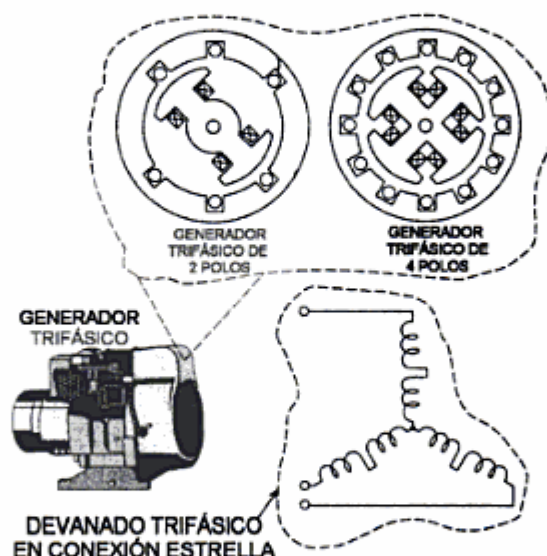
GENERADOR DE ROTOR CILÍNDRICO

# CLASIFICACIÓN DE GENERADORES POR EL TIPO DE ROTOR

### 1.6.2 VOLTAJE DE SALIDA TRIFÁSICO

La salida trifásica se puede producir en un campo magnético rotatorio que tiene 2 ó 4 polos, como se muestra en la siguiente figura, este campo consiste de polos norte y sur. Ahora, a diferencia del generador monofásico, se tienen tres grupos de conductores A(1) y A(2), B(1) y B(2), C(1) y C(2) cada uno de estos grupos de conductores están separados  $120^\circ$  con respecto a otro grupo de conductores monofásicos. Si el generador es de cuatro polos, entonces se requieren dos polos norte y dos polos sur sobre el rotor, con tres grupos de conductores en el estator.

En la figura siguiente, se da una ilustración detallada de generador trifásico con dos y cuatro polos.



Los rotores de polos salientes se construyen del tipo polos laminados o polos sólidos, la construcción de estos polos se usa en máquinas que operan a baja velocidad.

Los rotores de polos cilíndricos o lisos se usan en los generadores que operan con alta velocidad, son de construcción más rígida y tienen capacidad para manejar corrientes de campo más intensas.

### 1.6.3 LA POTENCIA DE LOS GENERADORES TRIFÁSICOS

Cuando se conecta una carga en las terminales del generador, circula una corriente a través de las bobinas de la armadura, suponiendo que se alimenta a una carga de tipo resistivo, la potencia por fase entregada es:

$$P_f = I_f \times E_f$$

Donde:

$I_f$  = corriente de fase.

$E_f$  = voltaje de fase o fase a neutro.

Si el generador está conectado en estrella, entonces:

$$I_{\text{fase}} = I_{\text{línea}}$$

$$E_{\text{fase}} = \frac{E_{\text{línea}}}{\sqrt{3}} = \frac{E_{\text{línea}}}{1.73}$$

La potencia total que el generador entrega a la carga es la correspondiente a las tres fases, es decir:

$$P_{\text{TOT}} = 3 P_f = 3 \times I_f \times E_f$$

Para el generador conectado en estrella:

$$P_{\text{TOT}} = 3 \times I_{\text{línea}} \times \frac{E_{\text{línea}}}{1.73}$$

$$P_{\text{TOT}} = 1.73 \times I_{\text{línea}} \times E_{\text{línea}}$$

Si el generador está conectado en delta:

$$E_f = E_{\text{línea}}$$

$$I_f = \frac{I_{\text{línea}}}{1.73}$$

Y entonces:

$$P_{\text{TOT}} = 1.73 \times I_{\text{línea}} \times E_{\text{línea}}$$

**Ejemplo**

Un generador trifásico alimenta a una carga resistiva a 208 volts, con una corriente de línea de 3.5 amperes. Calcular la potencia total que demanda la carga.

$$\begin{aligned} P_{TOT} &= 1.73 \times I_{línea} \times E_{línea} \\ &= 1.73 \times 3.5 \times 208 = 1260 \text{ watts} \end{aligned}$$

Cuando se alimenta a una carga no resistiva, entonces se debe tomar en consideración el factor de potencia y la expresión para la potencia total es ahora:

$$P_{TOT} = 1.73 \times E_{línea} \times I_{línea} \times \text{Factor de Potencia}$$

**Ejemplo**

Si el generador del ejemplo anterior alimenta ahora a 208 volts una carga inductiva que demanda 3.5 A de línea con un factor de potencia de 0.8, calcular la potencia total.

**Solución**

$$\begin{aligned} P_{TOT} &= 1.73 \times E_{línea} \times I_{línea} \times \text{Factor de Potencia} \\ P_{TOT} &= 1.73 \times 208 \times 3.5 \times 0.8 = 1008 \text{ watts} \end{aligned}$$

**LA REGULACIÓN DE VOLTAJE**

La regulación de voltaje se expresa en forma usual como un porcentaje e indica qué tanto cambio de voltaje es esperado en las terminales entre la condición de vacío (no carga) y plena carga, la ecuación que expresa esto es:

$$\% \text{ Regulación de voltaje} = \frac{\text{Volts en vacío} - \text{volts a plena carga}}{\text{Volts a plena carga}} \times 100$$

**Ejemplo**

Calcular la regulación de voltaje de un generador con un voltaje de vacío de 128.4 volts. y otro a plena carga de 120 volts.

**Solución**

$$\% \text{ Regulación de voltaje} = \frac{128.4 - 120}{120} \times 100 = 7\%$$

**1.7 LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO**

Los tipos de enfriamiento normalmente usados en los generadores de corriente alterna son los de aire enfriado, aire-agua con cambiador de calor y el de gasto de agua con cambiador de calor.

**a) El método de aire enfriado**

Los generadores que usan este método de enfriamiento, toman el aire del exterior a la temperatura ambiente como medio de enfriamiento, el aire se circula a través del estator y el rotor por medio de impulsores en ambos extremos del rotor. El aire caliente se extrae por la parte de atrás del generador para completar el ciclo, es decir, circula una sola vez.

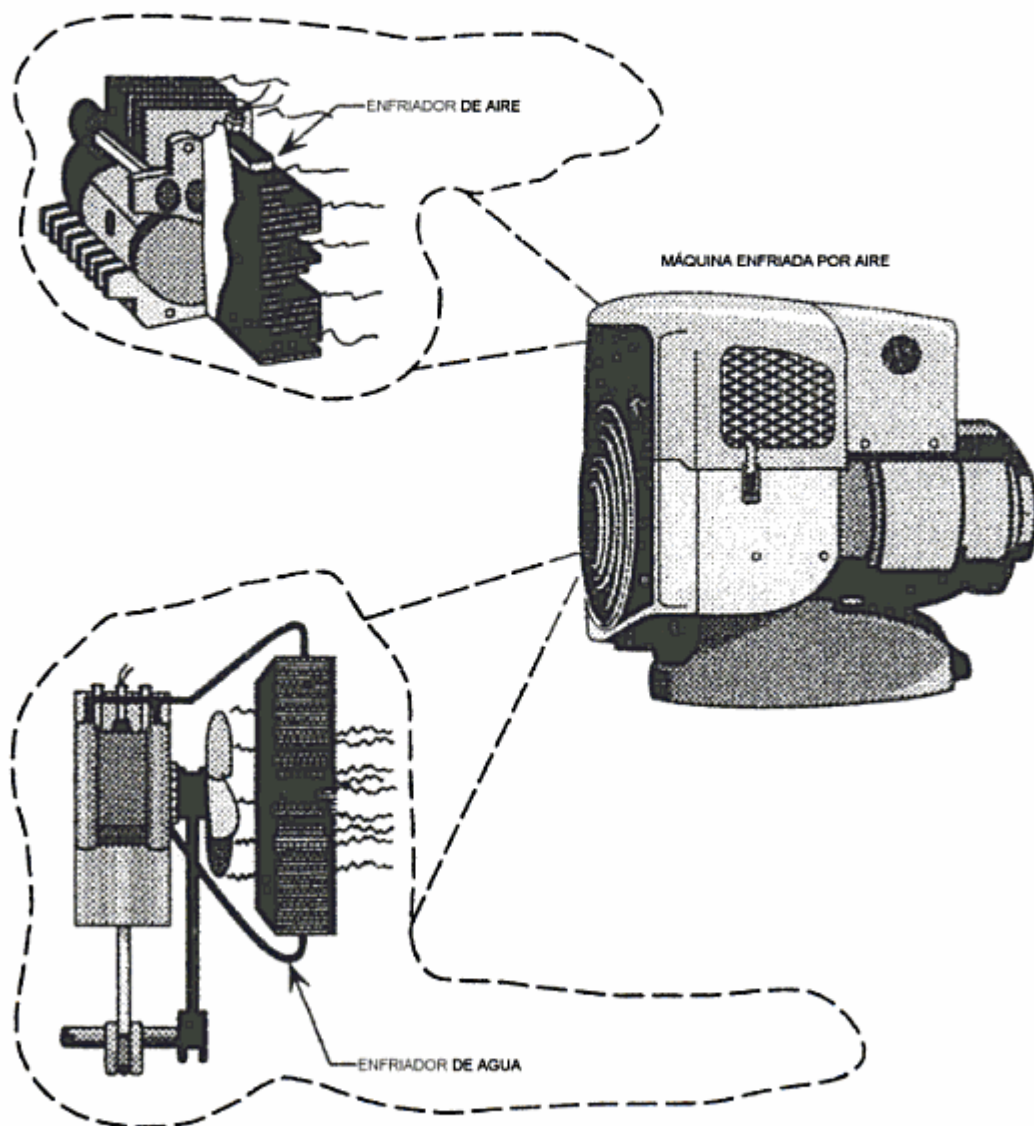
**b) Cambiador de calor aire-aire**

Un generador con un intercambiador de calor aire-aire es diferente de uno del tipo con enfriamiento natural, debido a que el intercambiador de calor constantemente recircula el mismo aire a través del estator, este método tiene además la ventaja de que conserva limpios los aislamientos, ya que el aire se cambia constantemente y con esto se elimina la necesidad de los filtros de aire en el sistema.

**c) Cambiador de calor aire-agua**

Un generador con un cambiador de calor aire-agua es diferente del que usa cambiador de calor aire-aire, en que el calor que viene del rotor y el estator se circula

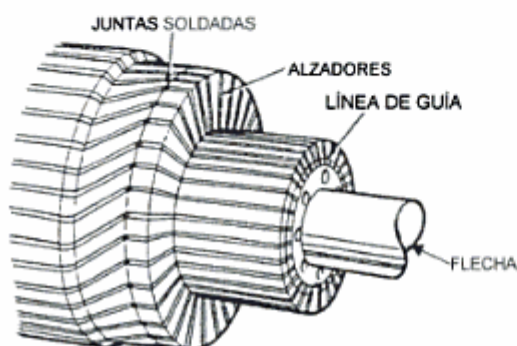
a través de un enfriador que consiste de un cierto número de tubos de cobre con perforaciones de circulación alrededor del diámetro exterior de los tubos. Es necesario tener una fuente de agua de enfriamiento, que se debe hacer circular a través de estos enfriadores; este sistema tiene la ventaja de que evita que se introduzcan al generador elementos contaminantes para los devanados.



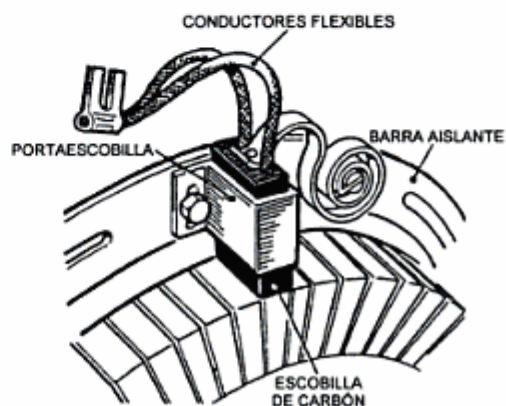
**MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO DE GENERADORES**

## 1.8 LA EXCITATRIZ DE CORRIENTE DIRECTA

Los pequeños grupos electrógenos o plantas de emergencia usan aún sistemas de excitación a base de pequeños generadores de corriente directa acoplados directamente al eje del generador, estos pequeños generadores de corriente directa en realidad generan corriente alterna y la rectifican por medio de un conmutador sobre el que se deslizan las escobillas.

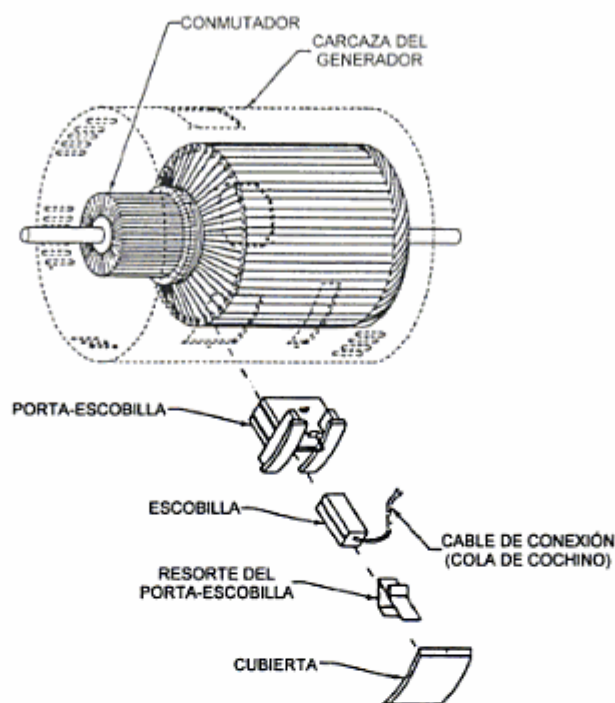


CONMUTADOR MOSTRANDO SUS PARTES



MONTAJE DE PORTAESCOBILLAS

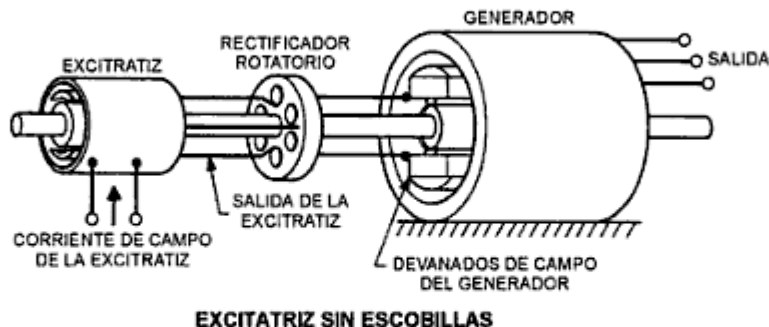
Uno de los problemas que presentan los sistemas de excitación a base de generadores de corriente continua es que requieren de mayor mantenimiento que otros sistemas de excitación que se denominan "*rotatorios sin escobillas*", o bien, estáticos. Este inconveniente ha hecho que para los generadores de tamaño relativamente grandes, no sean recomendables para los servicios de emergencia, además de que, desde el punto de vista de operación, presentan otros problemas que eventualmente pueden afectar la calidad de la forma de onda.



### ARMADURA Y PARTES RELACIONADAS EN UN GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA USADO COMO EXCITATRIZ

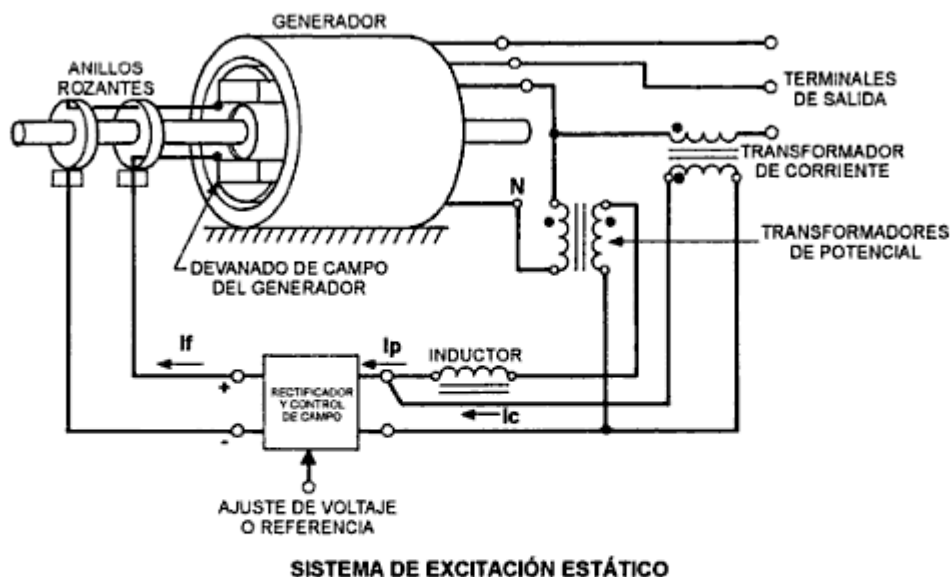
## 1.9 EXCITATRIZ SIN ESCOBILLAS

Otro tipo de sistema de excitación llamado **“excitatriz sin escobillas”** opera bajo el mismo principio que el anterior, sólo que ahora se eliminan las escobillas y el conmutador, de hecho, la excitatriz es un generador de C.A. con los polos de campo estacionarios, el voltaje generador en C.A. en los devanados rotatorios **se rectifica** por medio de diodos montados sobre la estructura rotatoria. El voltaje en C.D. producido por los rectificadores rotatorios se aplica directamente a los devanados de campo del generador, el regulador de voltaje controla la corriente de campo para obtener el voltaje deseado en las terminales.



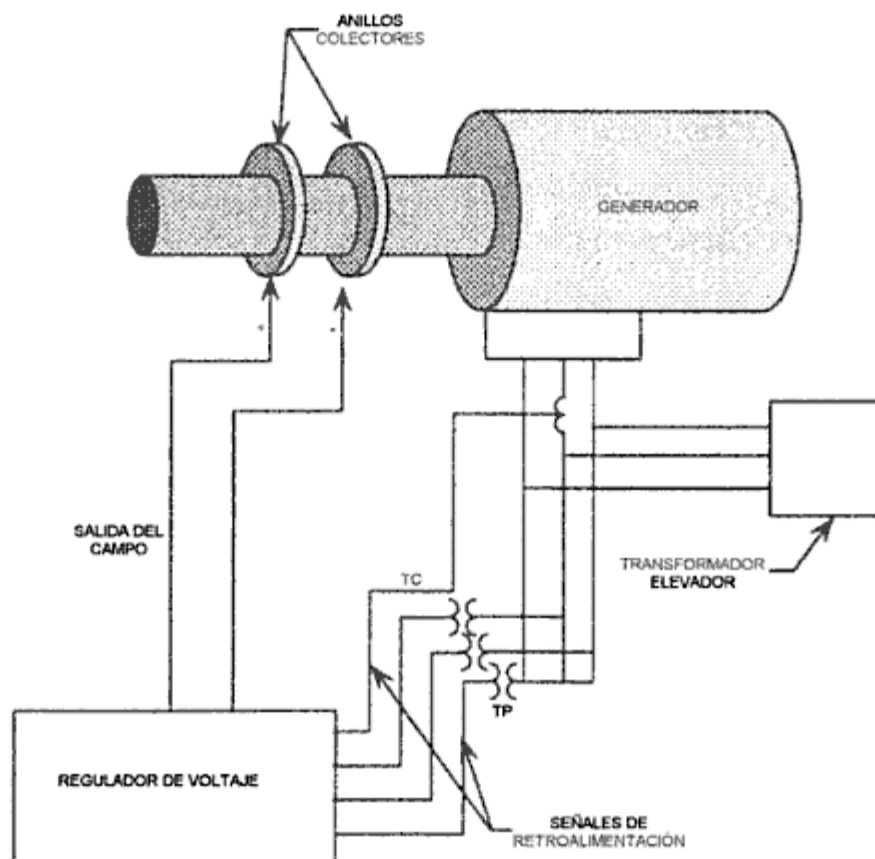
### 1.10 EXCITATRIZ ESTÁTICA

Otro sistema de excitación se le llama "*excitatriz estática*", elimina la excitatriz rotatoria, pero conserva los anillos rozantes y escobillas, la potencia para el campo se toma de la salida del generador. El sistema de control de voltaje controla la corriente excesiva de campo para regular el voltaje del generador. Los sistemas estáticos de excitación proporcionan una respuesta más rápida que los otros sistemas de excitación, para controlar el voltaje.



### 1.11 EL REGULADOR

La función de un regulador es usar las señales de retroalimentación de los transformadores de instrumento (potencial y corriente) para mantener el voltaje del generador a los niveles de uso, también deben cumplir con la función de proteger contra variaciones súbitas o bruscas de carga, o bien, valores de voltaje excesivos.



**REGULADOR DE VOLTAJE**

## DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS GENERADORES PARA PLANTAS DE EMERGENCIA

Parte de la información que se debe proporcionar para la selección de las características de las plantas de emergencia, es la relacionada con los datos de placa del generador, que es básica cuando se diseña, instala y mantiene, ya sea para aplicaciones comerciales o industriales los datos básicos a proporcionar son:

- (1) Nombre del fabricante
- (2) La frecuencia de operación
- (3) El número de fases
- (4) El factor de potencia
- (5) La capacidad en kVA o kW con los correspondientes volts y amperes.
- (6) La velocidad nominal en revoluciones por minuto (RPM)
- (7) El tipo de aislamiento y la temperatura ambiente

### 1.12 CONEXIÓN EN PARALELO DE GENERADORES

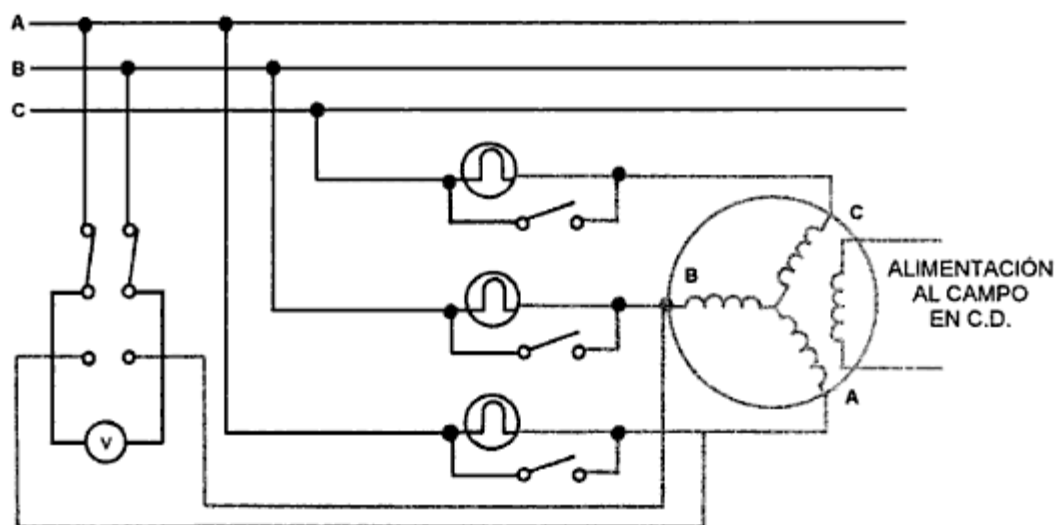
La mayoría de las líneas de transmisión y los alimentadores industriales están alimentados por varios generadores, pero de vez en vez éstos deben salir a mantenimiento y, por lo tanto, cuando regresan de mantenimiento se conectan a la línea o al sistema nuevamente, esto generalmente es un poco más tardado que sólo arrancar, ya que ahora debe ser **conectado en paralelo** con otros generadores que ya se encuentran generando. La salida de un generador que se encuentra generando en paralelo se debe acoplar a la barra o bus de salida, considerando satisfacer cuatro requerimientos:

1. Voltaje (magnitud).
2. Frecuencia.
3. Secuencia de fase.
4. Relación de fase.

Lo anterior, significa que al acoplar en paralelo el voltaje debe tener la misma forma de onda y valor eficaz (RMS).

## PROCEDIMIENTO PARA LA CONEXIÓN EN PARALELO

Una forma elemental, pero conveniente de conectar en paralelo es haciendo uso del llamado método de las tres lámparas que se muestra en la siguiente figura, un lado de cada lámpara está conectado a cada una de las tres líneas del bus, el otro lado al generador entrante en paralelo. En paralelo con las tres lámparas, se tiene un switch de tres polos de tiro sencillo, el switch conecta al generador entrante en el bus.



**CIRCUITO USADO PARA CONECTAR EN PARALELO UN GENERADOR  
CON LA COMPAÑÍA SUMINISTRADORA**

La frecuencia del voltaje generado depende de la velocidad del generador, de manera que si se depende sólo de la velocidad del generador, es bastante difícil conectar en paralelo al generador, ya que se debe ajustar perfectamente la velocidad para que se aproxime a la frecuencia correcta; esto ocurre cuando las lámparas prenden y se apagan lentamente en forma alternativa, **la sincronización se debe hacer cuando las lámparas están oscuras**, es decir, cuando los voltajes son iguales **tienen la misma frecuencia y están en fase**.

## EL SINCRONOSCOPIO

El método de las tres lámparas es especialmente útil para comparar la rotación de fases; sin embargo, no es un método preciso para identificar el punto exacto cuando

## Capítulo 2

### **Los Conceptos Fundamentales de Transformadores**

- c) Para calcular el valor instantáneo, basta considerar que el voltaje secundario es siempre 25 veces mayor que  $E_p$ , es decir:

$$E_s = 25 \times 40 = 1000 \text{ V}$$

### Ejemplo

Se tiene un transformador de 7.5 KVA, 4600/230 Volts, 60 Hz., que se ha diseñado a 2.6 volts/espira en las bobinas de sus devanados. Suponiendo que es un transformador ideal, calcular lo siguiente:

- a) La relación de transformación como elevador.
- b) La relación de transformación como reductor.
- c) El número total de espiras en la bobina de alta tensión.
- d) El número de espiras en el devanado de baja tensión.
- e) La corriente primaria como reductor.
- f) La corriente secundaria como reductor.

### Solución

- a) Como transformador elevador el voltaje primario es:  $V_1 = 230 \text{ V}$ .

La relación de transformación es entonces:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{230}{4600} = 0.05$$

- b) Como transformador reductor el voltaje primario es  $V_1 = 4600 \text{ V}$ .

La relación de transformación es ahora:  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{4600}{230} = 20$

- c) Con un valor de 2.6 volts/espira, se puede determinar el número de espiras como:

$$N_1 = \frac{\text{volts}}{\text{volts / espira}} = \frac{4600}{2.6} = 1769 \text{ espiras}$$

d) Para el lado de bajo voltaje:

$$N_2 = \frac{230}{2.6} = 88.5 \text{ espiras}$$

e) Como transformador reductor el lado de 4600 V es el primario y la corriente es:

$$I_1 = \frac{7.5 \times 1000}{4600} = 1.63 \text{ A}$$

f) La corriente en el lado de 230 V es:

$$I_2 = \frac{750}{230} = 32.6 \text{ A}$$

## 2.5 LA CONSTRUCCIÓN DEL TRANSFORMADOR

En general, desde el punto de vista de su aplicación y diseño, los transformadores pueden ser **monofásicos** y **trifásicos**. Desde el punto de vista de su construcción hay básicamente dos tipos de núcleos de hierro:

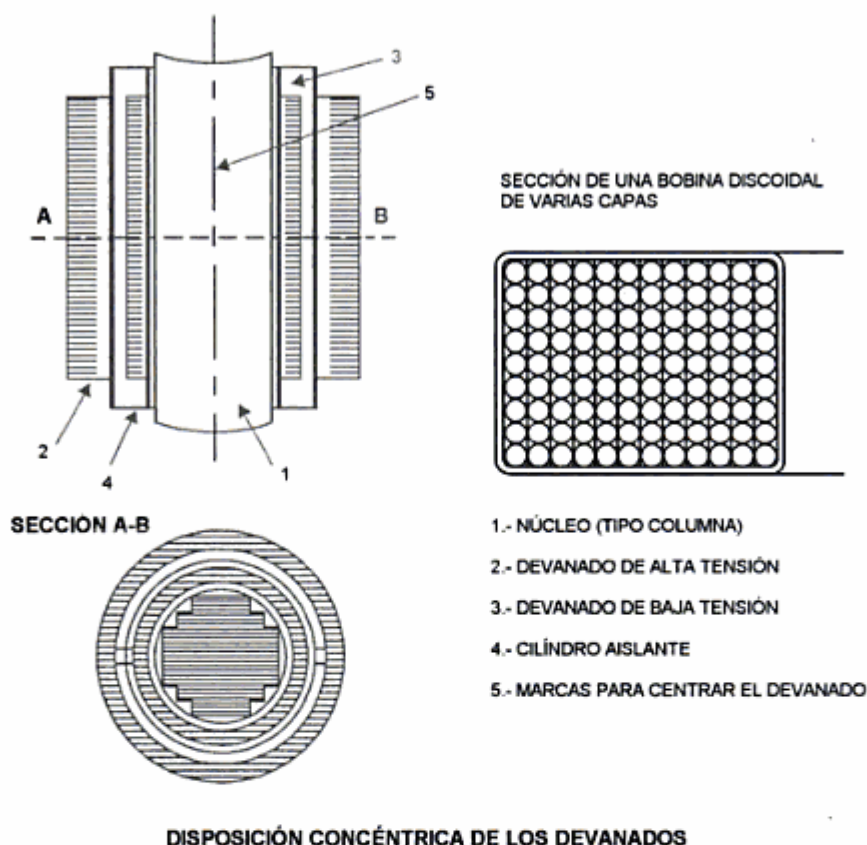
- El tipo núcleo.
- El tipo acorazado.

Estos diseños difieren unos de otros en la manera en que el núcleo se construye para alojar las bobinas. Eléctricamente, no hay mucha diferencia entre los dos tipos de construcción. De hecho, en ambos las bobinas se colocan en forma concéntrica, estando la de bajo voltaje más cercana al núcleo por razones de aislamiento y la de alto voltaje en la parte externa. Existen pequeñas diferencias en cuanto a la distribución del flujo magnético en ambos tipos de núcleos, lo que hace que se presente una variación en el diseño de las bobinas.

El diseño de **núcleo acorazado** ofrece la ventaja de proporcionar un mejor soporte mecánico y de permitir una mejor sujeción de las bobinas.

Los núcleos se pueden construir de laminaciones cortadas de rollos de acero. La mayoría del material tiene una aleación de aproximadamente un contenido de 3% de silicio y 97% de hierro, de aquí la denominación de **acero al silicio**. El contenido de silicio reduce las pérdidas de magnetización, en particular la parte correspondiente a las denominadas pérdidas por histéresis. Esta aleación hace al material un tanto quebradizo, lo cual trae como consecuencia algunos problemas de manufactura, por lo que hay un límite práctico en el contenido de silicio. La mayoría de los materiales laminados son **"rolados en frío"** y ofrecen la facilidad de que el grano sea orientado. Las laminaciones para transformadores están cubiertas por una o varias capas de barniz para aislar unas de otras.

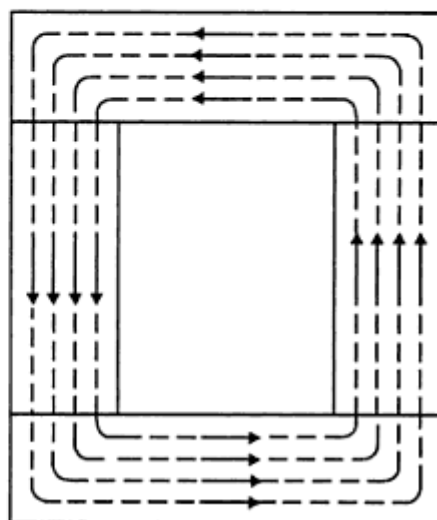
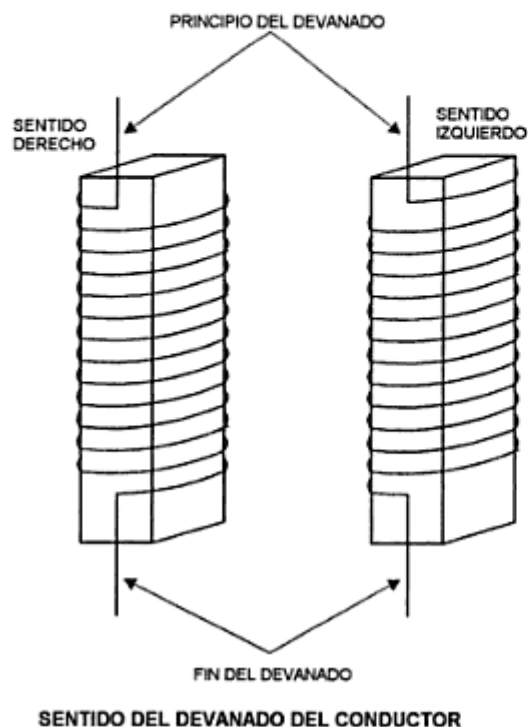
Según sea el tipo de diseño del núcleo (de columnas o acorazado), las laminaciones se deben cortar en distintas formas para ser armadas en los núcleos, esto se muestra en la figura siguiente:



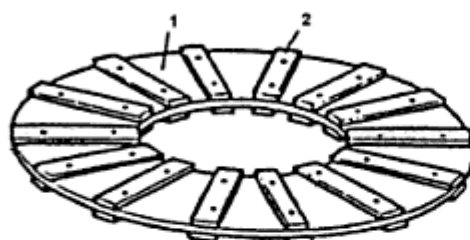
Las bobinas de los devanados de alta tensión, dependiendo de la técnica de fabricación usada y del nivel de tensión, se pueden tener de dos tipos: el tipo helicoidal con conductores en varias capas y el discoidal con bobinas tipo disco o "galleta", en donde cada bobina tiene del orden de 1500 volts como máximo.

## 2.5.4 CONEXIONES DE LOS DEVANADOS

Cuando se construyen los devanados se puede proceder el bobinado hacia la derecha o hacia la izquierda, se debe tomar en cuenta que una corriente que tiene un determinado sentido produce un flujo magnético en el sentido opuesto. Esto se debe considerar para que al efectuar las conexiones no se tengan flujos opuestos, esto quiere decir que cada fábrica debe adoptar un sentido único de devanado para todas las bobinas, tanto secundarias como primarias.



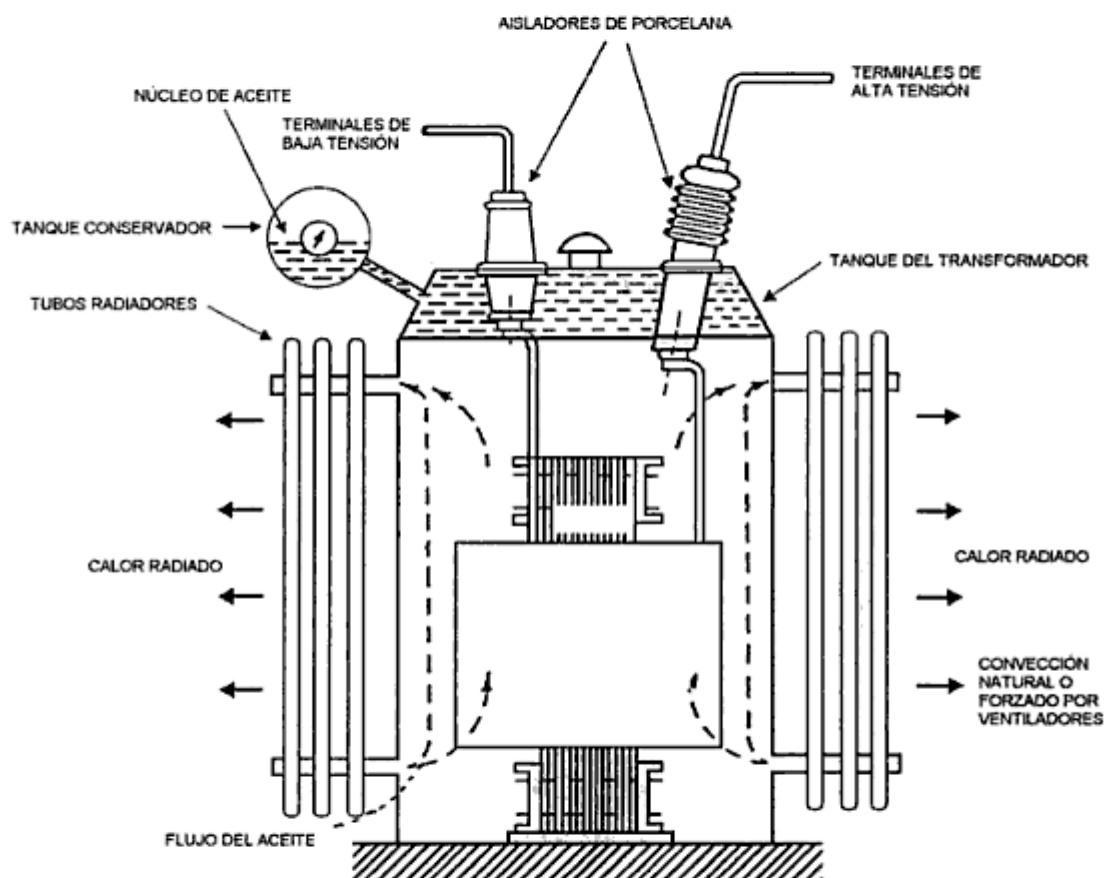
SENTIDO DEL FLUJO EN EL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO



DETALLE DEL AISLAMIENTO DEL NÚCLEO

1. CILINDRO DE MADERA FIBRACEL O CARTÓN PRESS-BOARD.
2. "COSTILLAS" PARA DAR CONSISTENCIA MECÁNICA.

**Enfriamiento tipo OA/FA.** En la medida que la capacidad de los transformadores se incrementa, se agregan radiadores externos para aumentar la capacidad de radiación. El aceite se mueve a través del transformador y circula alrededor de los tubos radiadores. Si desea aumentar aún más la capacidad de disipación de calor se agregan ventiladores que hacen circular el aire en forma forzada.



**ENFRIAMIENTO DEL NÚCLEO Y BOBINAS POR CIRCULACIÓN DE ACEITE**

### 3.6 LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA A TRANSFORMADORES EN LAS INSTALACIONES

Todos los transformadores requieren de cierto mantenimiento, pero los transformadores que son operados en áreas donde se tienen atmósferas corrosivas y polvos eléctricamente conductivos, requieren de frecuentes inspecciones. La humedad, la elevación de temperatura y los ambientes corrosivos y contaminados, son los primeros enemigos que pueden afectar un transformador. Aún los transformadores de tipo seco que están herméticamente sellados, requieren de inspecciones frecuentes.

Los registros para el mantenimiento de un transformador, se inician cuando el transformador es instalado. Los datos concernientes con la operación del aparato se deben registrar cuando el transformador se pone en servicio y opera normalmente. Estos podrían incluir: El voltaje presente, los KVA entregados a la carga y las lecturas de temperatura apropiadas para el tipo de enfriamiento del transformador. Se puede incluir otra información de algunas pruebas de puesta en servicio, tales como: Alto potencial, rigidez dieléctrica del aceite (cuando éste es el medio de enfriamiento).

Esta información sirve como base para comparar los datos obtenidos durante la rutina de mantenimiento y para determinar cambios en las condiciones que puedan llevar a daños en el transformador. Es útil también para localizar las fallas en el sistema cuando éstas ocurren.

Cuando una compañía lleva un buen registro de las fallas, éste puede proveer una guía sobre qué tan frecuentemente se debe programar el mantenimiento. Esto refuerza o apoya a las recomendaciones de los fabricantes, sobre cuándo comenzar con el mantenimiento de las distintas partes o componentes que deben ser consideradas.

#### 3.6.1 LAS PRUEBAS DIELECTRICAS

Un refrigerante decolorado puede indicar un alto grado de oxidación y la presencia de sedimentos o lodos. Para investigar el estado real del refrigerante (aceite por lo general), se deben realizar pruebas dieléctricas que también permitan determinar con una aproximación general el estado de los aislamientos del transformador en general.

Las pruebas dieléctricas se hacen durante la fase de puesta en servicio del transformador, en los periodos de mantenimiento, o bien, cuando se presentan fallas

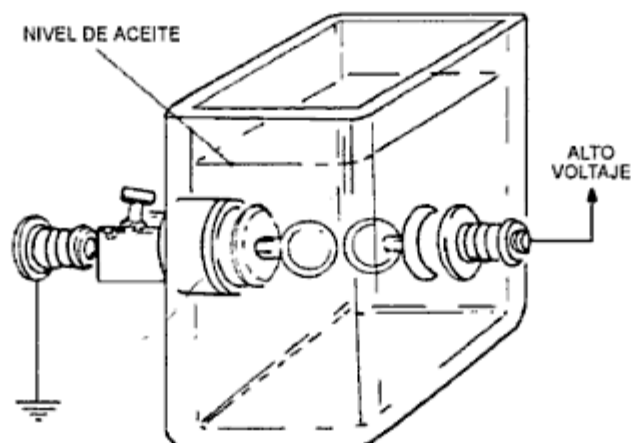
y es necesario hacer un diagnóstico de las mismas. De los resultados de estas pruebas, algunas veces se obtienen conclusiones respecto a las acciones que se deben tomar, ya sea para los fines del mantenimiento (tratado del aceite, secado del transformador, etcétera), o bien, para reparaciones.

### 3.6.2 LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

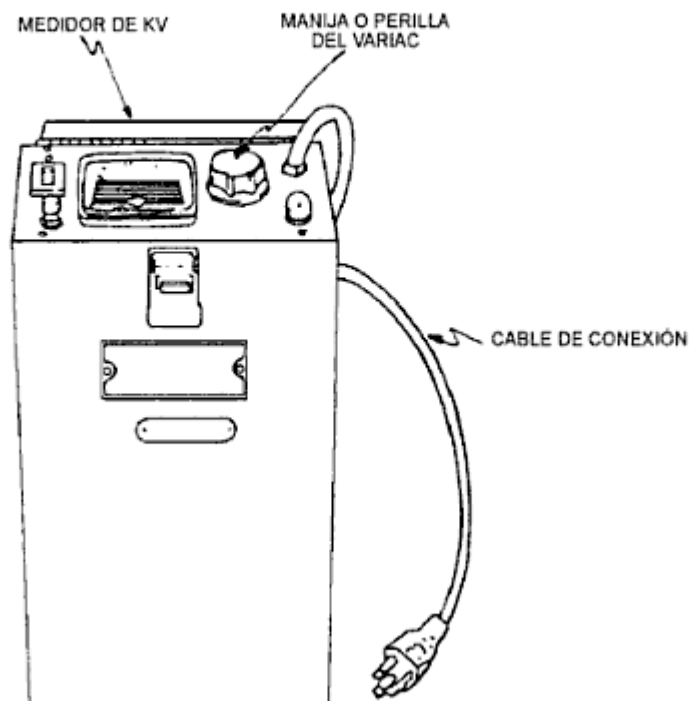
La determinación de la rigidez dieléctrica del aceite es importante para verificar la capacidad que tiene para soportar esfuerzos dieléctricos sin fallar.

El valor de la rigidez dieléctrica está representado por el voltaje al que se presenta la ruptura dieléctrica del aceite entre los electrodos de prueba, bajo ciertas condiciones predeterminadas. Permite también detectar la presencia de agentes contaminantes como agua, suciedad o algunas partículas conductoras en el aceite. Un valor elevado de rigidez dieléctrica no indica ausencia de otros contaminantes necesariamente.

Para la realización de la prueba se puede usar, en general, cualquier probador de rigidez dieléctrica en el que los elementos que lo constituyen son principalmente: el transformador elevador, un voltmetro de medida, el equipo de interrupción y los electrodos dentro de la copa estándar.



COPA ESTANDAR PARA LA PRUEBA  
DE RIGIDEZ DIELECTRICA



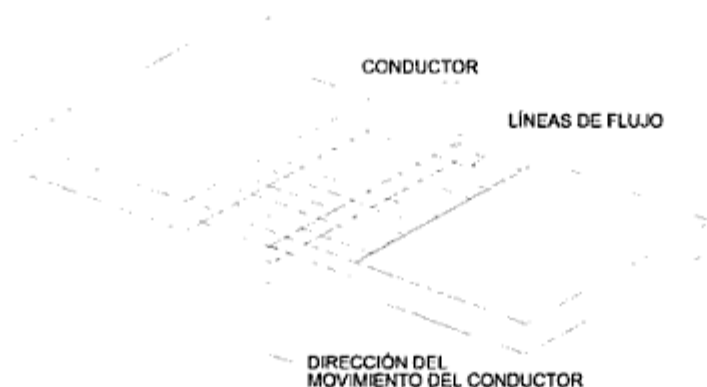
PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA TIPO PORTATIL

La separación entre los electrodos que se encuentran en la copa estándar deber ser de 2.54 mm. (0.10 plg), valor ajustado con un calibrador que forma parte del propio probador de rigidez dieléctrica del aceite.

Los electrodos y la copa en donde se colocaron las muestras de aceite se deberán limpiar con papel seco o gamuza, de manera que quede libre de pelusa, tratando de no tocar con los dedos los electrodos durante el proceso de limpieza. Después se enjuaga con un solvente como thinner o gasolina blanca, y finalmente, antes de hacer la primer prueba se debe enjuagar la copa con aceite nuevo y seco, para efectuar una prueba de ruptura dieléctrica con una muestra del mismo. Si el valor de la ruptura es inferior a 35 kV, se debe efectuar nuevamente la limpieza de la misma.

Para efectuar una prueba representativa en una muestra de aceite que se sospecha contiene impurezas, se debe evitar agitación en el aceite, ya que esto puede introducir una cantidad excesiva de aire en el mismo.

Para tomar una muestra representativa del total del aceite, se recomienda tomar las precauciones siguientes:

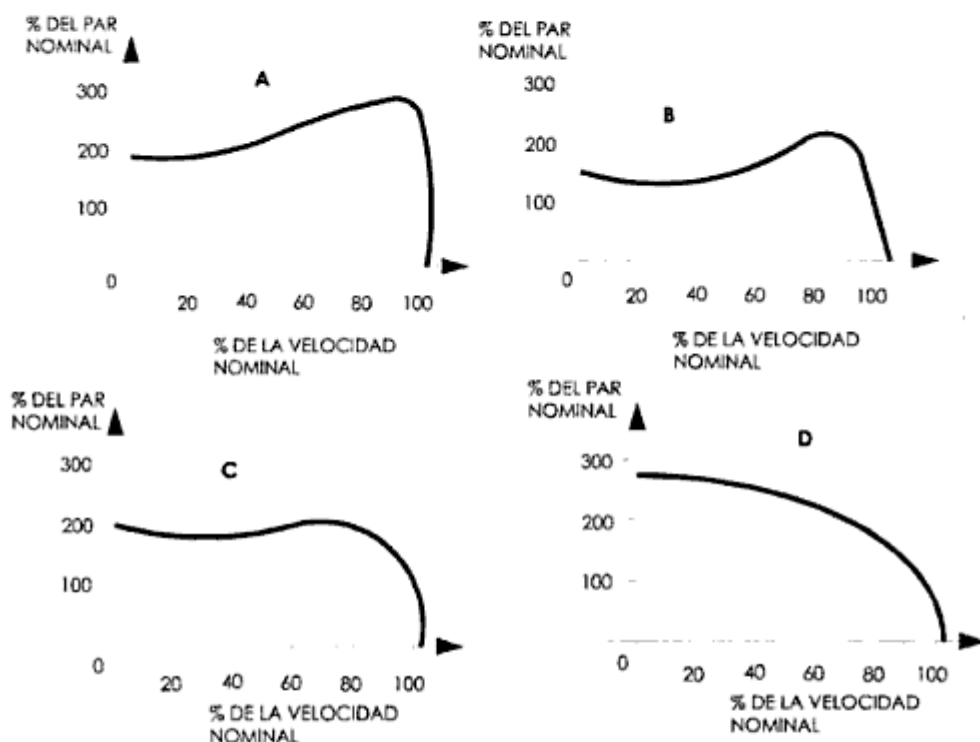


**EL MOVIMIENTO DE UN CONDUCTOR A TRAVÉS DEL FLUJO MAGNÉTICO AL CORTAR LA TRAYECTORIA DEL FLUJO, INDUCE UN VOLTAJE EN EL CONDUCTOR**

De acuerdo con la figura anterior, al usar un instrumento de medición analógico (con aguja), si el conductor se mueve hacia arriba a través del flujo, la aguja se desplaza hacia el lado izquierdo. Si el conductor se mueve hacia abajo, la indicación de la aguja es hacia la derecha. Si el conductor se mueve rápidamente hacia arriba y hacia abajo, suponiendo que el cero de la escala está en el centro de ésta, la aguja se desplazará rápidamente a la derecha y a la izquierda, generándose un voltaje. Si el movimiento se suspende, no se genera voltaje; y si el conductor se mueve de derecha a izquierda, en sentido paralelo al flujo, tampoco se genera voltaje.



De acuerdo a sus curvas características par-velocidad, los motores de jaula de ardilla se diseñan en los tipos A, B, C y D, como se muestra en la siguiente figura. El diseño tipo B es el más común y cubre la mayoría de las aplicaciones de los motores.



**GRÁFICAS PAR-VELOCIDAD PARA MOTORES DE DISEÑO A, B, C Y D**

- *Los motores de más de 200 HP son considerados usualmente como de propósitos especiales, en lugar de propósitos generales.*

## 4.1 MOTORES DE INDUCCIÓN DE ROTOR DEVANADO

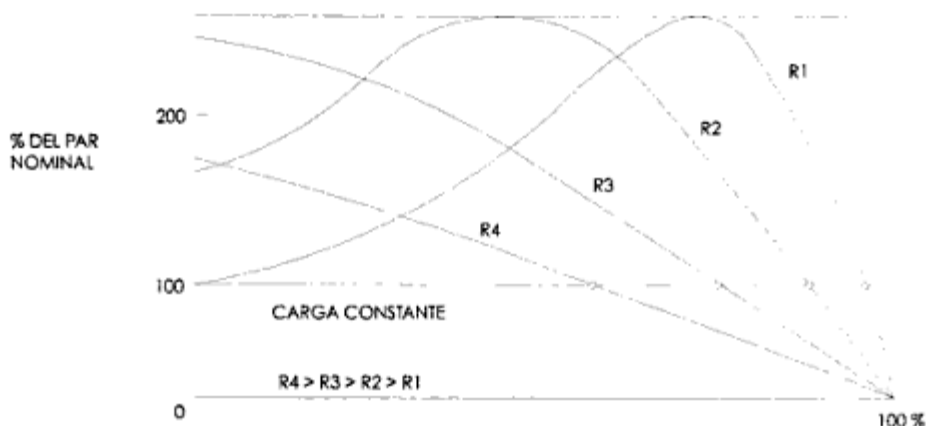
El motor de inducción de rotor devanado opera bajo los mismos principios que los motores de jaula de ardilla, pero difieren en la construcción del rotor.

En lugar de las barras en corto circuito, el rotor está construido de bobinas cuyas terminales llegan a unos anillos rozantes montados sobre el eje.



La conexión de las resistencias externas al circuito del rotor a través de los anillos rozantes, permite la variación de las características par-velocidad.

El rango de variación de velocidad es de alrededor de 5:1, se puede lograr agregando resistencias externas al circuito del rotor. Sin embargo, esto es a expensas de la eficiencia eléctrica, a menos que se utilice energía deslizante recuperable usada en el circuito.



El máximo par que un motor puede producir está determinado por el diseño de su rotor, pero la velocidad a la cual este par está desarrollado depende de la resistencia externa del rotor.

Cada diseño de rotor devanado tiene una familia de curvas par-velocidad que corresponde a varios valores de resistencia externa del rotor.

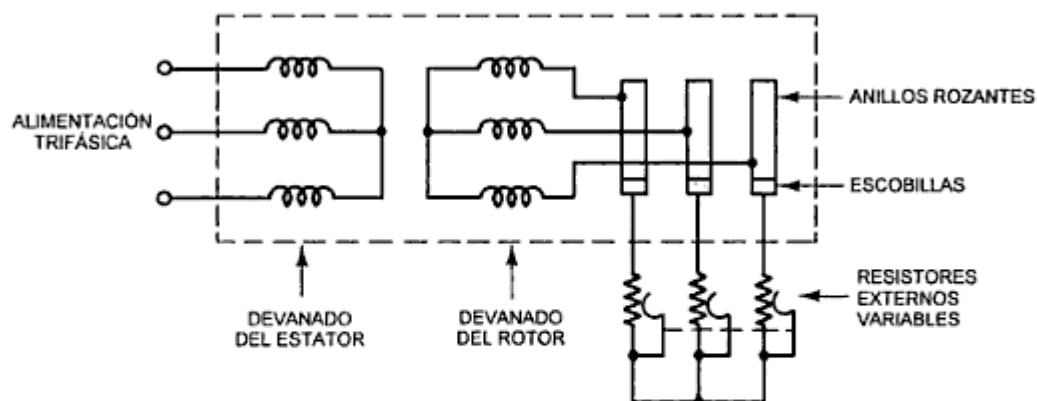
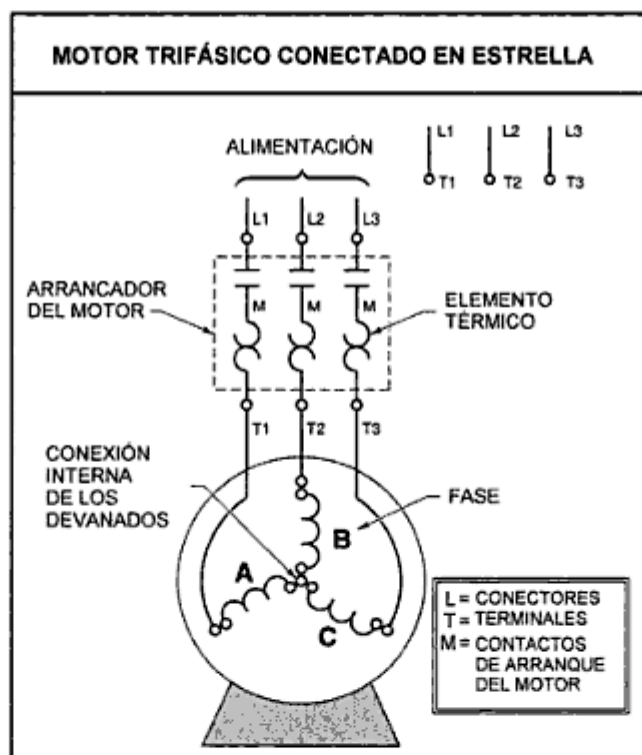
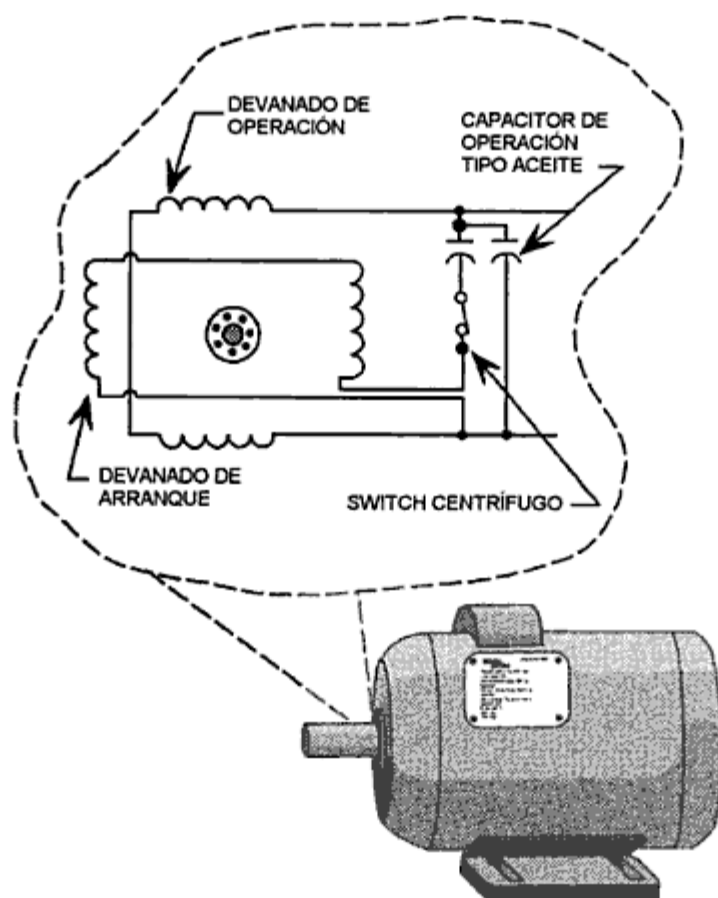


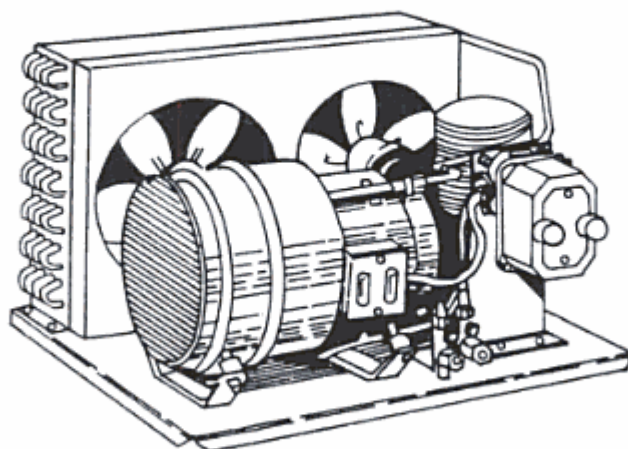
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN DE ROTOR DEVANADO





**MOTOR DE ARRANQUE Y OPERACIÓN CON CAPACITOR**

**EL PAR SE INCREMENTA PROPORCIONANDO CAPACITORES PARA UN ARRANQUE FÁCIL**



## 5.8 CLASIFICACIÓN POR VELOCIDAD

Existe una clasificación por velocidad reconocida también por los fabricantes de motores eléctricos (NEMA), que se agrupa como sigue:

### 5.8.1 MOTORES DE VELOCIDAD CONSTANTE

Que tiene una variación máxima del 20% de vacío a plena carga; dentro de esta categoría se encuentra la mayoría de los motores de inducción.

### 5.8.2 MOTORES DE VELOCIDAD VARIABLE

El cambio de vacío a plena carga en la velocidad es mucho mayor del 20%, la mayoría de estos motores son los conocidos como de tipo universal.

### 5.8.3 MOTORES DE VELOCIDAD AJUSTABLE

Estos motores son los llamados de inducción con rotor devanado.

#### **5.8.4 MOTORES DE VELOCIDAD AJUSTABLE-VARIABLE**

Son motores de inducción de rotor devanado con medios externos de control, por ejemplo resistencias en el rotor.

#### **5.8.5 MOTORES DE MULTIVELOCIDAD**

Son motores que tienen derivaciones en los devanados, lo que permite tener tantas velocidades, como derivaciones en el devanado.

### **5.9 SELECCIÓN DE MOTOR DE INDUCCIÓN**

Los motores de inducción jaula de ardilla son muchas veces referidos, como "Los caballos de trabajo de la industria", debido a que son de bajo costo y confiables. Ellos se ajustan a muchas aplicaciones y tienen la mejor confiabilidad.

Los motores de inducción, jaula de ardilla polifásicos en el rango de 1 a 2000 HP, son especificados por su tipo de diseño: A, B, C o D.

Estos estándares de diseño están disponibles para clases particulares de aplicaciones, basados en los requerimientos de carga típica de cada clase.

Los motores jaula de ardilla, tienen requerimientos de mantenimiento mínimo y son frecuentemente elegidos.

Los motores de inducción de rotor devanado son útiles en algunas aplicaciones debido a que sus circuitos de rotor pueden ser alterados para dar las características de arranque u operación deseadas; sin embargo, ellos requieren mantenimiento a los cojinetes.

La tabla siguiente, puede ser usada para ayudar a determinar cuál tipo de diseño puede ser seleccionado.

TABLA 5.4  
SELECCIÓN DE MOTOR DE INDUCCIÓN

| CLASIFICACIÓN                                                                        | PAR DE ARRANQUE<br>(PORCIENTO DEL<br>PAR DE CARGA<br>NOMINAL) | PAR DE<br>ATASCAMIENTO<br>(PORCIENTO DEL<br>PAR DE CARGA<br>NOMINAL) | CORRIENTE DE<br>ARRANQUE          | DESILZAMIENTO                             | APLICACIÓN<br>TÍPICA                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diseño A y B<br>par de<br>arranque<br>normal y<br>corriente de<br>arranque<br>normal | 100-200%                                                      | 200-250%                                                             | Normal                            | < 5%                                      | Abanicos,<br>bombas,<br>centrífugas y<br>compresoras.<br>Donde los<br>requerimientos<br>del par de<br>arranque son<br>relativamente<br>pequeños.                                                         |
| Diseño C<br>par de<br>arranque alto y<br>corriente de<br>arranque<br>normal          | 200-250%                                                      | 200-250%                                                             | Normal                            | < 5%                                      | Máquinas con-<br>mutadoras,<br>agitadores,<br>bombas<br>reciprocantes<br>y compresoras<br>donde se<br>requiere un<br>arranque con<br>carga.                                                              |
| Diseño D<br>par de<br>arranque alto y<br>desilzamiento<br>alto                       | 275%                                                          | 275%                                                                 | Bajo                              | > 5%                                      | Cargas<br>elevadas,<br>perforadoras,<br>elevadoras,<br>extractores,<br>etcétera.                                                                                                                         |
| Rotor<br>devanado                                                                    | Cualquier par<br>hasta el valor<br>de<br>atascamiento         | 225-275%                                                             | Depende del<br>par de<br>arranque | Depende de la<br>resistencia del<br>rotor | Donde se<br>requiere alto<br>par de<br>arranque, con<br>baja corriente<br>de inserción,<br>arranques<br>frecuentes o<br>control de<br>velocidad<br>limitada y<br>donde deba<br>acelerarse la<br>inercia. |

## 5.12 VOLTAJE Y CORRIENTE NOMINAL

Dependiendo del voltaje y la corriente nominal que son función de la potencia del motor, se requieren distintas características en la fuente de alimentación.

## 5.13 TIPO DE CARCAZA

El tipo de carcasa se seleccionará según las condiciones de operación, sean consideradas como normales o especiales, por ejemplo, sumergido en agua, a prueba de goteo, a prueba de polvo, en ambientes explosivos, etcétera.

### TIPOS DE CARCAZAS



TIPO ABIERTO



SEMI-PROTEGIDO



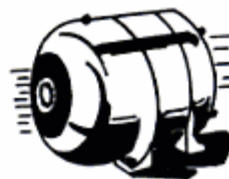
A PRUEBA DE GOTEO



A PRUEBA DE AGUA



TOTALMENTE CERRADO



ENFRIADO CON  
VENTILACIÓN

CLASIFICACIÓN DE MOTORES DE ACUERDO A SU CONSTRUCCIÓN MECÁNICA

arcos eléctricos en la alimentación o fallas en los controladores (arrancador, cuchillas, etcétera). Una de las fallas más comunes en los devanados (bobinados) es el cortocircuito; éste se puede dar cuando dos o más espiras están eléctricamente en contacto, cuando una espira hace contacto con las laminaciones del estator o rotor, o bien, con la carcasa. Esto quiere decir que el cortocircuito puede ser entre devanados o a tierra.

Durante el funcionamiento del motor, ***un cortocircuito puede estar provocado por una sobrecarga o exceso de corriente que caliente los devanados***, de modo que esto puede hacer que se quemen los aislamientos de los conductores, quedando éstos al descubierto.

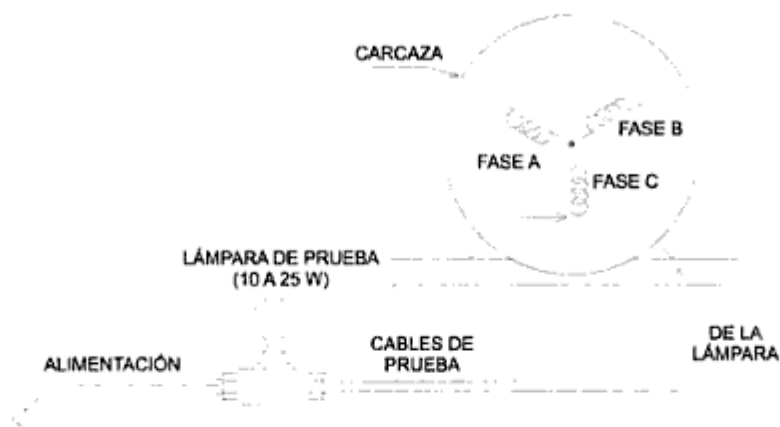
Un cortocircuito en cualquier parte del devanado puede provocar una operación ruidosa del motor, con presencia de humo. Otro indicativo del corto circuito es la demanda o consumo de una corriente elevada cuando el motor opera en vacío (sin carga mecánica acoplada a su eje).

Para la localización de bobinas en corto circuito se pueden usar los siguientes procedimientos:

- ❶ Si el motor lo permite, se pone en marcha y se deja operar durante algún tiempo, localizando al tacto la bobina más caliente, que será aquella que se encuentra en cortocircuito.
- ❷ Otros de los métodos comunes para el desarrollo de las pruebas eléctricas en los devanados, son los siguientes:
  - El método de la lámpara de prueba.
  - El método del volt-ampérmetro de gancho.
  - El método de Megger o medidor de resistencia de aislamiento.
  - El método del Growler o zumbador.
  - El método del milivóltmetro.

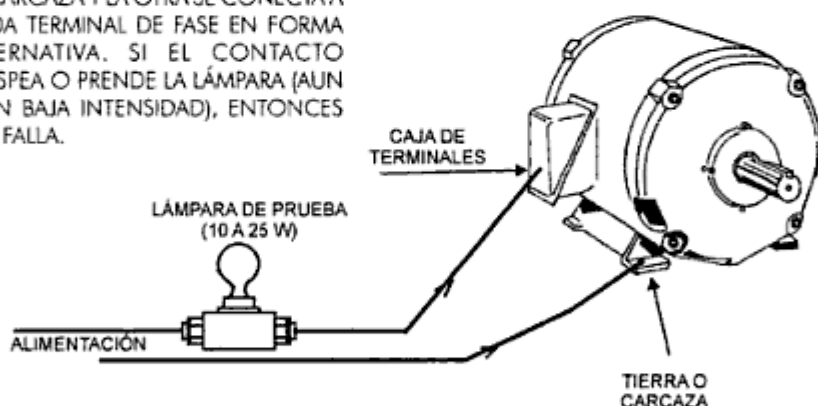
Estos procedimientos y métodos de prueba simplificados que se usan en forma más común, se describen en forma gráfica a continuación, definiendo en cada lámina la metodología por seguir, las conexiones y la interpretación de los resultados.

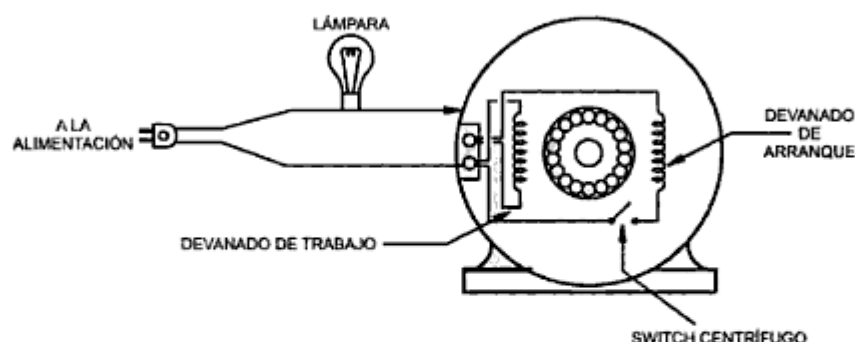
La idea de estos procedimientos de prueba es que sean fácilmente interpretados, y de los resultados o valores obtenidos en su caso, se puedan tener los diagnósticos del tipo y localización de la falla.



**PRUEBAS DE LOS DEVANADOS DEL ESTATOR PARA DETECTAR FALLAS A TIERRA CON UNA LÁMPARA DE PRUEBA**

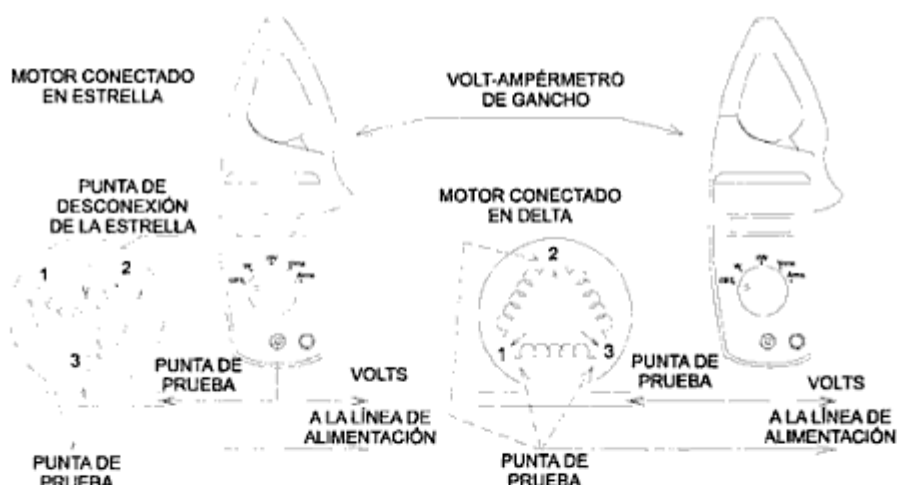
SE CONECTA UNA PUNTA DE PRUEBA A LA CARCAZA Y LA OTRA SE CONECTA A CADA TERMINAL DE FASE EN FORMA ALTERNATIVA. SI EL CONTACTO CHISPEA O PRENDE LA LÁMPARA (AUN CON BAJA INTENSIDAD), ENTONCES HAY FALLA.





**LA PRUEBA DE FALLA A TIERRA EN LOS DEVANADOS DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE C.A. DE FASE PARTIDA SE PUEDE HACER EXTERNAMENTE EN LAS TERMINALES CON LAS LÁMPARAS DE PRUEBA.**

### **LOCALIZACIÓN DE FALLAS DE FASE A TIERRA POR MEDIO DE UN VOLT-AMPÉRMETRO DE GANCHO**

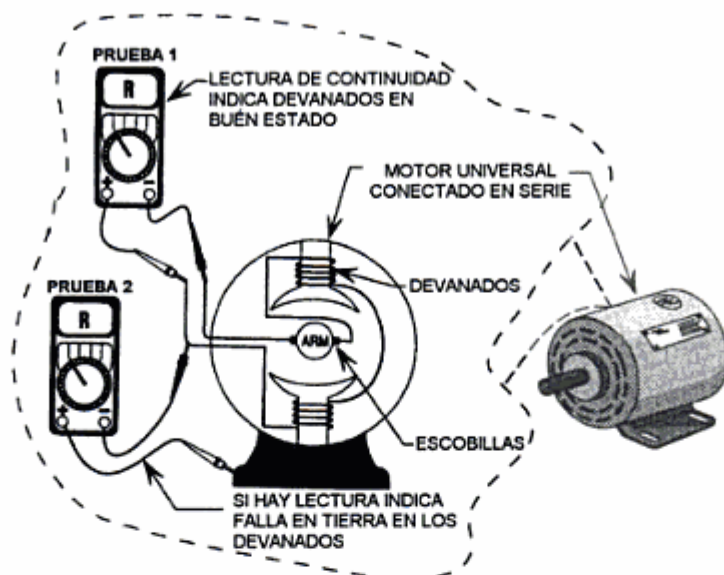
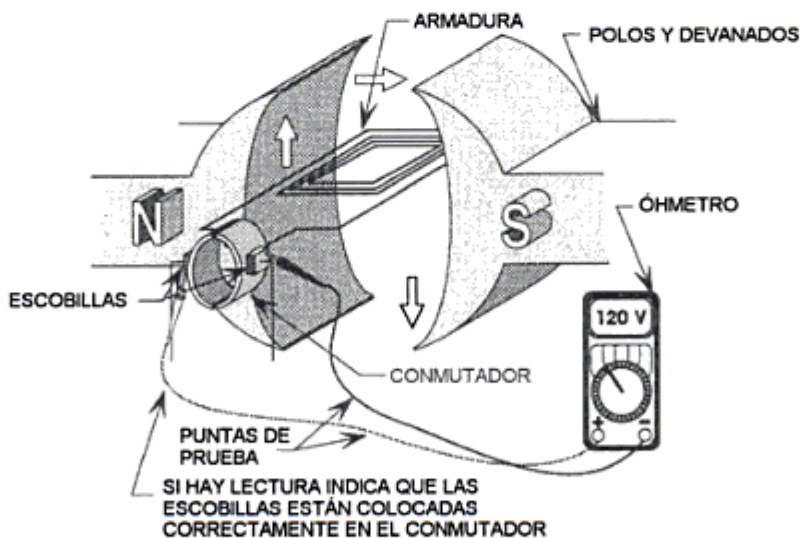


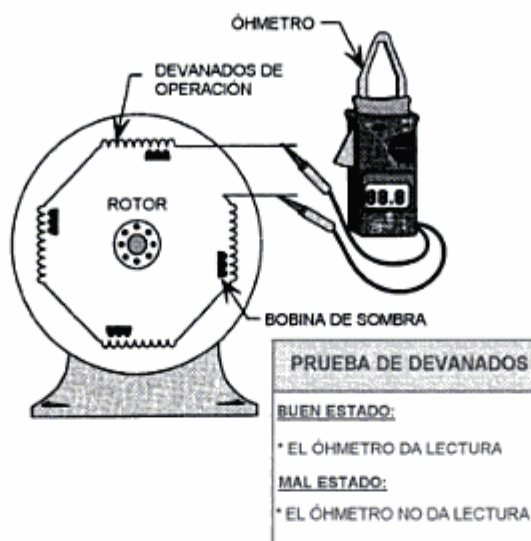
PARA DETERMINAR SI UN DEVANADO ESTÁ A TIERRA O TIENE UN VALOR MUY BAJO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO, SE CONECTA UN VOLT-AMPÉRMETRO DE GANCHO COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA.

LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN PUEDE SER DE 120 V O 127 V. SE USA EL RANGO MÁS BAJO DE LA ESCALA, SI EL DEVANADO ESTÁ A TIERRA A LA CARCAZA LA PRUEBA INDICARÁ EL VOLTAJE COMPLETO.

UN VALOR DE RESISTENCIA A TIERRA ES SIMPLEMENTE UN CASO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO BAJA.

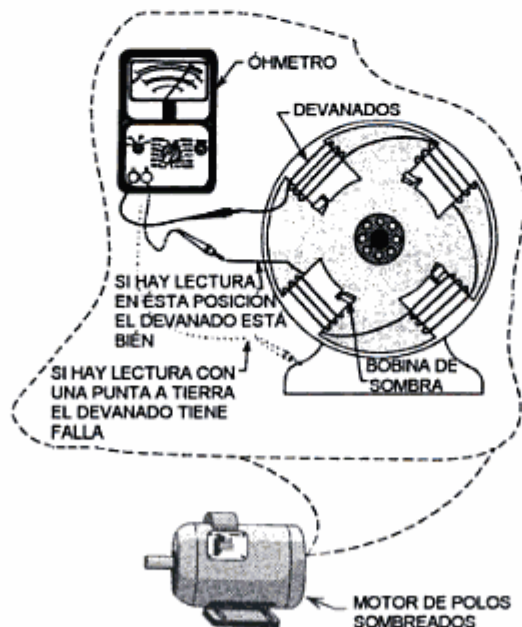
UN DEVANADO QUE NO ESTÁ A TIERRA DA UN VALOR MUY PEQUEÑO O POCO APRECIABLE.

**PRUEBA DE LOS DEVANADOS DE UN MOTOR UNIVERSAL****PRUEBA DE ESCOBILLAS DE UN MOTOR UNIVERSAL**

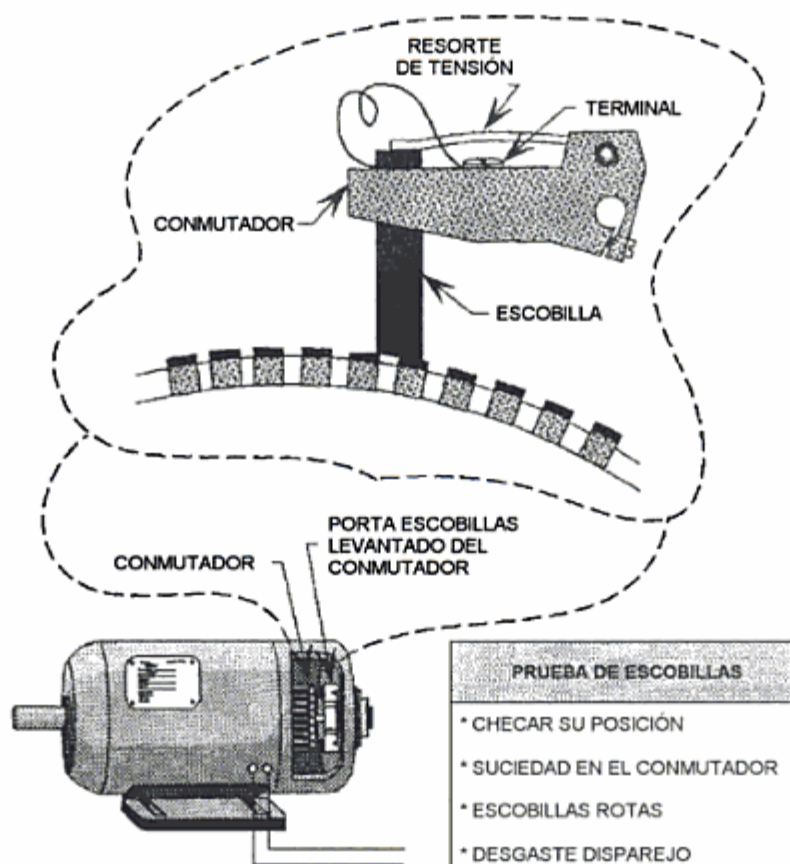


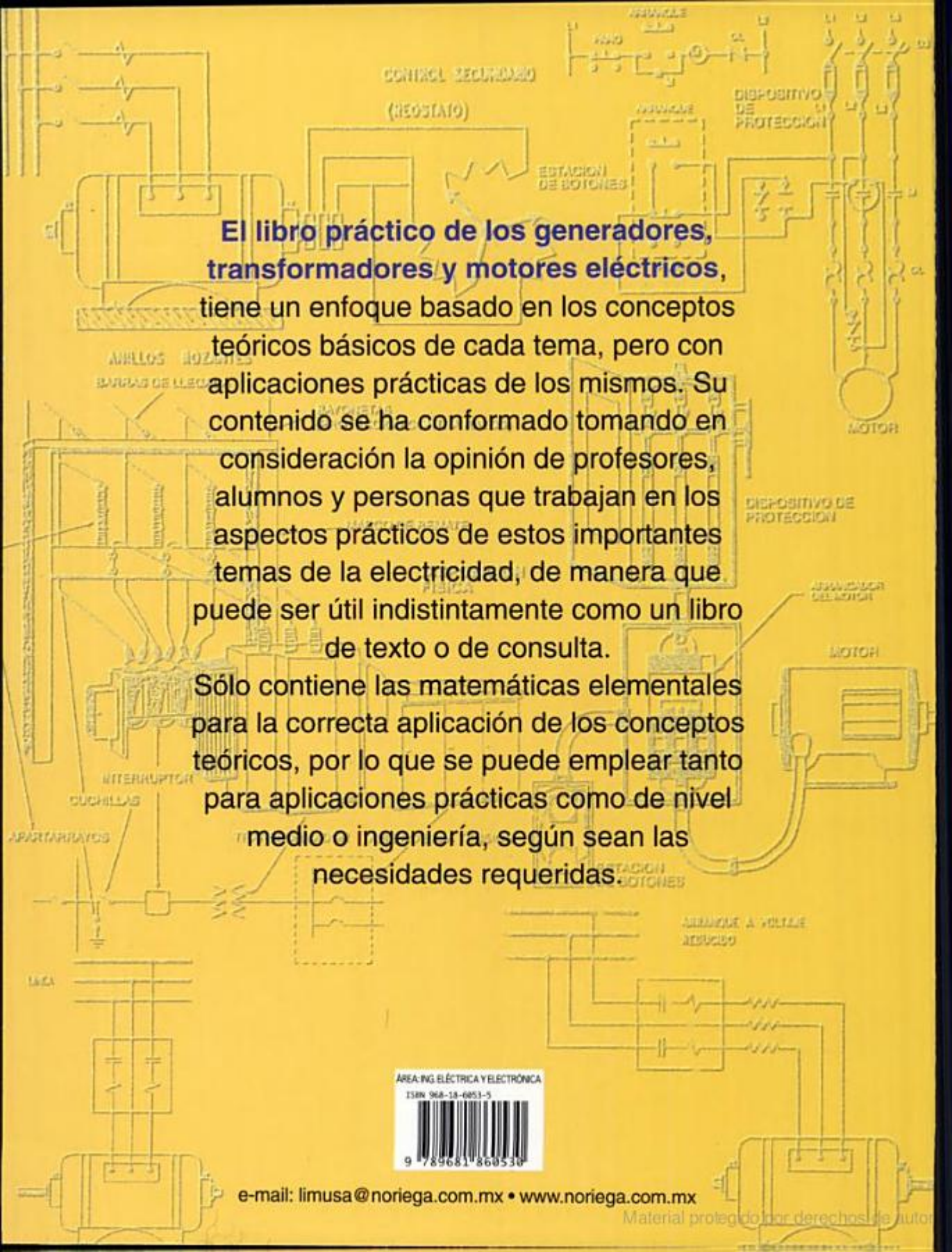
#### PRUEBA DE LOS DEVANADOS DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE POLOS SOMBREADOS

LA RESISTENCIA DEL DEVANADO EN UN MOTOR DE POLOS SOMBREADOS SE MIDE POR MEDIO DE UN ÓHMETRO



#### PRUEBA DE LOS DEVANADOS DE UN MOTOR DE POLOS SOMBREADOS

**PRUEBA DE ESCOBILLAS EN UN MOTOR MONOFÁSICO DE REPULSIÓN**



**El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos,** tiene un enfoque basado en los conceptos teóricos básicos de cada tema, pero con aplicaciones prácticas de los mismos. Su contenido se ha conformado tomando en consideración la opinión de profesores, alumnos y personas que trabajan en los aspectos prácticos de estos importantes temas de la electricidad, de manera que puede ser útil indistintamente como un libro de texto o de consulta.

Sólo contiene las matemáticas elementales para la correcta aplicación de los conceptos teóricos, por lo que se puede emplear tanto para aplicaciones prácticas como de nivel medio o ingeniería, según sean las necesidades requeridas.

AREA: ING. ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ISBN 968-18-6053-5



9 789681 860530

e-mail: [limusa@noriega.com.mx](mailto:limusa@noriega.com.mx) • [www.noriega.com.mx](http://www.noriega.com.mx)

Material protegido por derechos de autor