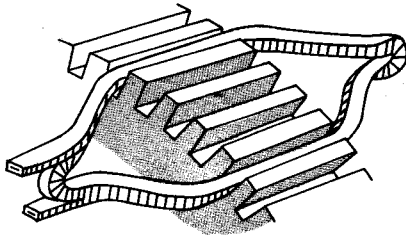


# Capítulo 3

## ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LA MAQUINA DE CORRIENTE CONTINUA

- 3.1 Polos, bobinas de campo y yugo del estator
- 3.2 Interpolos y arrollamiento de compensación
- 3.3 El colector
- 3.4 El arrollamiento de armadura
- 3.5 El modelo del circuito equivalente





# ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LA MAQUINA DE CORRIENTE CONTINUA

La máquina de continua consta de dos partes principales:

- 1) la parte inmóvil, destinada principalmente para crear el flujo magnético, y
- 2) la parte rotatoria, llamada **inducido**, en la que transcurre el proceso de transformación de la energía mecánica en eléctrica (generador eléctrico) o a la inversa, la transformación de la energía eléctrica en mecánica (motor eléctrico).

Las partes inmóvil y rotatoria están separadas una de otra por un espacio denominado **entrehierro**.

La parte inmóvil o **estator** de la máquina de continua está compuesta por los **polos principales**, destinados a crear el flujo magnético principal; los **polos auxiliares** o **polos de conmutación**, instalados entre los principales y que sirven para lograr el funcionamiento sin chispas de las escobillas en el colector (en el caso de falta de espacio en las máquinas de pequeña potencia los polos auxiliares no se instalan); y el **armazón** o **yugo**.

El **inducido** representa un cuerpo cilíndrico, que gira en el espacio entre los polos, y está compuesto por el **núcleo dentado del inducido**, el **devanado** arrollado a éste, el **colector** y el **aparato de escobillas**.

A continuación se da una breve descripción de los elementos constructivos principales de la máquina de corriente continua.

## 3.1 POLOS, BOBINAS DE CAMPO Y YUGO DEL ESTATOR

### 3.1.1. Polos principales

El polo principal viene dado en la figura 3.1. Este consta del **núcleo polar** (inductor) armado de chapas de acero para transformadores de 1mm de espesor con ayuda de espárragos.

Por el lado que da al inducido, el núcleo polar tiene la **zapata** o **expansión polar** que sirve para facilitar el paso del flujo magnético a través del **entrehierro**.

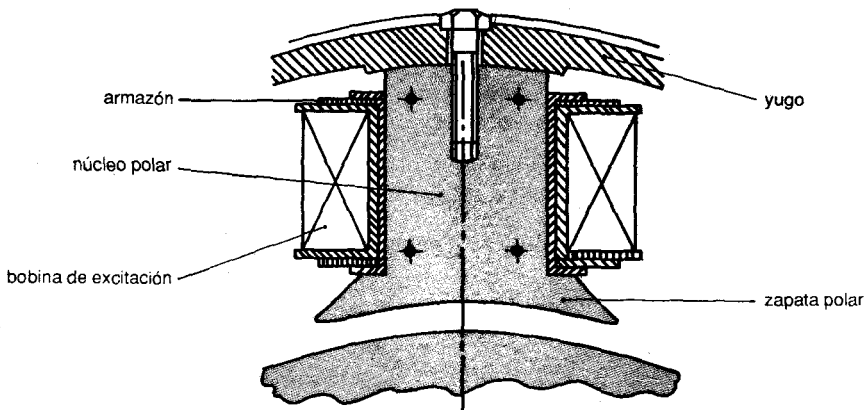


Fig. 3.1 Polo principal

La sujeción de los polos al yugo o armazón se realiza con auxilio de pernos especiales.

### 3.1.2 Bobinas de campo

En el núcleo polar va colocada la **bobina de excitación** o de campo, por la cual pasa corriente continua. Véase la figura 3.1

La bobina se arrolla a un armazón hecho de chapa de acero de 1-2 mm de espesor con aislante de cartón de 2-3 mm, o de plástico o de papel de baquelita.

En las máquinas de pequeña y mediana potencia, las bobinas de los polos principales se practican sin armazón.

Con el fin de disminuir la higroscopicidad y aumentar la conductibilidad térmica, las bobinas se impregnan con compuesto aislador o se someten a una impregnación múltiple en lacas calientes con el secado posterior en hornos.

Para mejorar el enfriamiento la bobina se divide por su altura en dos o varias partes, entre las cuales se dejan canales de ventilación de suficiente anchura.

### 3.1.3 Yugo del estator

Se llama **yugo** o **armazón** a la parte inmóvil de la máquina, a la que se sujetan los polos principales y auxiliares y con ayuda de la cual la máquina se sujeta a la cimentación.

La parte del yugo que sirve para conducir el flujo de los polos principales y auxiliares se llama **culata**.

El yugo se fabrica de fundición o de acero. Si el diámetro del rotor es menor de 40 cm, entonces, además de los polos, al yugo se sujetan también las cajas de los apoyos.

## 3.2 INTERPOLOS Y ARROLLAMIENTO DE COMPENSACION

### 3.2.1 Interpolos

El polo auxiliar o **interpolo** consta también de un **núcleo polar** que termina en una **zapata polar**, de una u otra forma, y de la **bobina** que va colocada en el núcleo. Véase la figura 3.2.

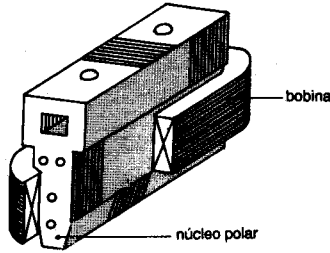


Fig. 3.2 Esquema de un interpolo.

Los interpolos se instalan estrictamente por la mitad entre los polos principales y van emperrados al yugo.

Generalmente, los interpolos se hacen macizos, pero en las máquinas que funcionan con carga bruscamente variable, se hacen de acero en chapas.

### 3.2.2 Arrollamiento de compensación

El arrollamiento de compensación es uno de los medios más efectivos que contribuyen al mejoramiento de la conmutación de las máquinas que funcionan con cargas bruscamente variables.

El objetivo de este arrollamiento es eliminar en el mayor grado posible la distorsión del campo magnético principal, provocada por la reacción de armadura. Para ello, el arrollamiento compensador se coloca en las ranuras estampadas en las expansiones polares de los polos principales, y se ejecuta según el esquema de la figura 3.3.

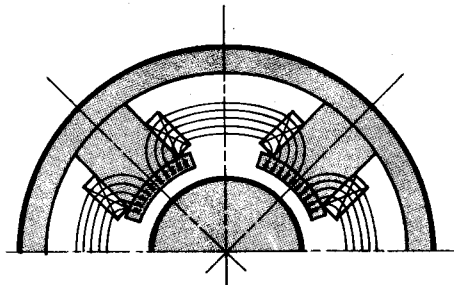


Fig. 3.3 Máquina de continua con arrollamiento compensador.

Para que la compensación tenga lugar a cualquier carga, es necesario conectar en serie el arrollamiento compensador con el devanado del inducido de tal modo, que las f.m.m.s. de ambos arrollamientos estén dirigidas en sentidos contrarios.

El uso de este arrollamiento aumenta el grado de fiabilidad de funcionamiento de la máquina en lo que se debe a la conmutación, pero complica su construcción y aumenta notablemente su costo.

Por esta razón, el arrollamiento compensador se emplea sólo en las máquinas de potencia relativamente grande, a partir de 150 kw.

### 3.3 EL COLECTOR

#### 3.3.1 El conmutador

El devanado del inducido se conecta al **conmutador**, que puede ser de distintos tipos, según la potencia de la máquina y su velocidad.

En la figura 3.4 se muestra el tipo simple de conmutador cilíndrico. Generalmente, el conmutador se fabrica de pequeñas láminas de forma trapezoidal, llamadas también **delgas**, aisladas entre si y del cuerpo por medio de juntas y empaquetaduras de mica.

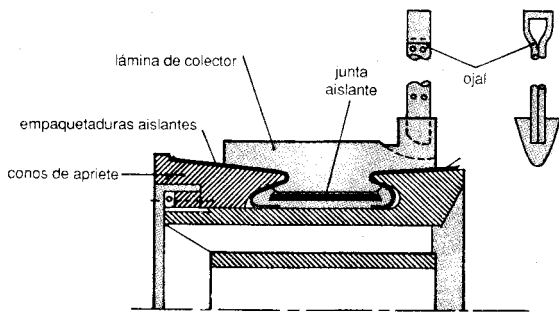


Fig. 3.4 Corte longitudinal de un conmutador cilíndrico.

Las delgas se sujetan con las colas de milano, y después de una serie de encajados en caliente el conmutador se tornea con el fin de que su superficie sea estrictamente cilíndrica.

La conexión del devanado del inducido con el conmutador se puede efectuar de distinto modo.

Si la diferencia entre los diámetros del inducido y el conmutador no es muy grande, entonces los terminales de las secciones del devanado del inducido se sueldan directamente a las delgas del conmutador.

Las máquinas de gran potencia con velocidad normal de rotación frecuentemente tienen conmutador doble o separado.

### 3.3.2 El aparato de escobillas

Para la toma de corriente del conmutador rotatorio y para suministrarle a éste corriente, se emplea el **aparato de escobillas**, que consta de:

- a) las escobillas,
- b) los portaescobillas,
- c) los pernos portaescobillas,
- d) la corona portaescobillas, y
- e) las barras colectoras.

En la figura 3.5 se muestra una de las estructuras típicas del portaescobillas de una máquina de continua.

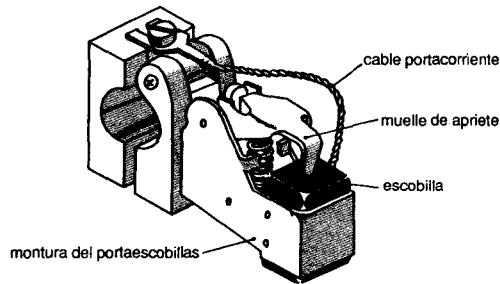


Fig. 3.5 Portaescobillas

En las máquinas modernas se emplea casi exclusivamente escobillas de carbón y grafito. Las de carbón y metal se emplean en las máquinas de continua de baja tensión.

La escobilla se coloca en el portaescobillas y con ayuda de un muelle se aprieta al conmutador con una fuerza de  $1.5 - 2.5 \text{ N/cm}^2$ .

El portaescobillas se sujeta al perno portaescobillas y mantiene la escobilla en una posición determinada con relación al conmutador. El tipo de portaescobillas más difundido, es el que le da a la escobilla posición radial y que le permite desplazarse en el collar del portaescobillas.

La transmisión de corriente de la escobilla al perno portaescobillas se realiza con el auxilio del cable flexible o cable portacorriente, figura 3.5. En cada perno generalmente se colocan dos o varias escobillas que funcionan en paralelo. Los pernos portaescobillas tienen forma cilíndrica o prismática, se sujetan a la corona portaescobillas y se aíslan de ella con casquillos aislantes.

En la figura 3.6 se muestra uno de los métodos de sujeción de los pernos portaescobillas a la corona.

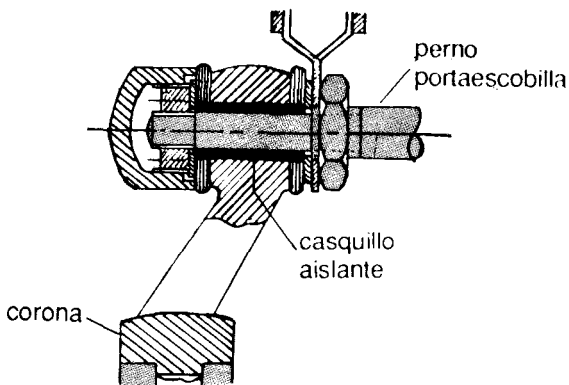


Fig. 3.6 Sujeción de los pernos portaescobillas a la corona.

En las máquinas de pequeña y mediana potencia, la corona se instala sobre cojinetes, tal como se ve en la figura 3.7. En las máquinas de gran potencia, la corona se sujeta al yugo.

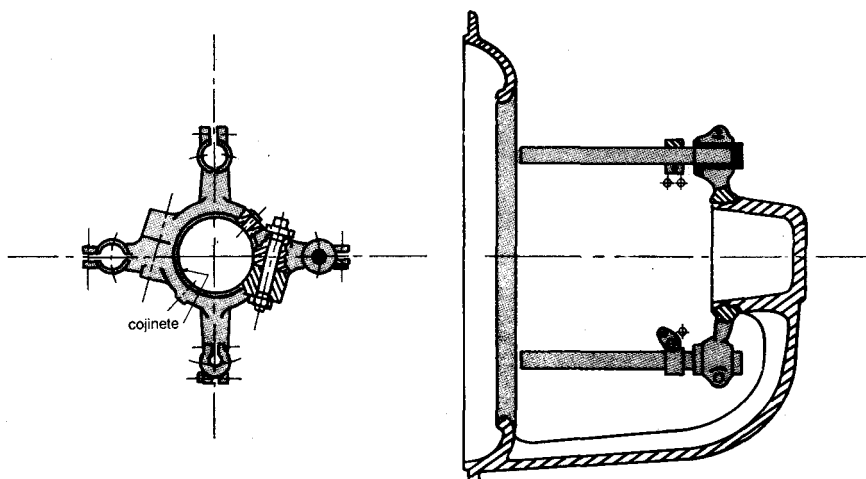


Fig. 3.7 Sujeción de la corona portaescobillas sobre el cojinete

Todas las escobillas de igual polaridad se unen entre si por medio de **barras colectoras**, de las cuales salen derivaciones a los terminales de la máquina.

## 3.4 EL ARROLLAMIENTO DE ARMADURA

### 3.4.1 El inducido o armadura

Actualmente, se emplea exclusivamente inducidos dentados de tambor, hechos de chapa de acero para transformadores de 0.5 mm de espesor para una frecuencia de remagnetización del inducido (20 – 60 Hz) normal para las máquinas de continua.

Las chapas de acero se arman en dirección axial de la máquina, y para reducir las pérdidas por corrientes parásitas se aíslan una de otra con lacas o papel de 0.03–0.05 mm de espesor.

En la figura 3.8 puede verse una hoja de acero del inducido de tambor.

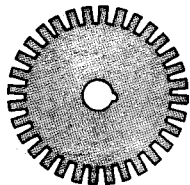


Fig. 3.8 Placa de armadura.

El núcleo del inducido se prensa por ambos lados con ayuda de dispositivos de apriete, que se sujetan de manera especial al árbol o van empernados a éste.

Para mejorar la refrigeración, las máquinas de pequeña potencia van dotadas de aletas; en las máquinas de gran potencia, en el árbol va montado un ventilador.

### 3.4.2 Devanados del inducido

Los devanados del inducido de tambor que se emplean en la actualidad se componen de secciones (figura 3.9) fabricadas con frecuencia en plantillas especiales y colocadas en las ranuras del núcleo del inducido.



Fig. 3.9 Sección separada del arrollamiento.

El devanado (arrollamiento) del inducido es el elemento más importante de la máquina, por cuanto con su participación directa transcurre la conversión de una forma de energía en otra.

### 3.4.2.1 Clasificación de los devanados de inducido de las máquinas de continua

Existen los siguientes tipos de devanados de inducido:

- a) imbricado simple,
- b) ondulado simple,
- c) imbricado combinado, y
- d) ondulado combinado.

Los devanados simples forman siempre un solo sistema de conductores cerrado en si mismo, mientras que los devanados combinados pueden formar tanto uno (devanado ordinario), como varios de estos sistemas (devanado múltiple).

En el presente libro se estudiará sólo los devanados simples.

Los bobinados imbricados se usan en máquinas de gran corriente (por presentar una gran cantidad de bobinas en paralelo), mientras que los ondulados, en las de gran tensión (por presentar un gran número de bobinas en serie).

En las máquinas con bobinado imbricado el número de escobillas es igual al número de polos. Las escobillas del mismo signo se unen entre si para constituir un mismo punto.

En las máquinas con bobinado ondulado el número de escobillas puede ser simplemente dos para cualquier número de polos.

### 3.4.2.2 Principios del bobinado de los arrollamientos de tambor

En la figura 3.10 se muestra la sección del arrollamiento de un inducido de

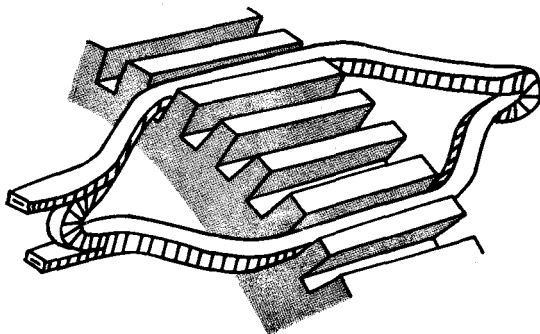


Fig. 3.10 Disposición de las secciones del arrollamiento de un inducido de tambor.

tambor. A las partes de la sección situadas en las ranuras se les llama **partes activas**, y a las partes de la sección con ayuda de las cuales los lados activos de ésta se conectan entre si y con el colector se les llama **partes frontales** de la sección.

Obsérvese que la sección de un inducido de tambor tiene dos lados activos. Estos se sitúan uno respecto al otro a una distancia igual, o aproximadamente igual, a un paso polar.

El arrollamiento de tambor se hace de dos capas, es decir, de tal modo, que un lado activo de cada sección está situado en la parte superior de la ranura, y el otro, en la inferior (véase la figura 3.10).

Si colocáramos ambos lados de la sección en un mismo plano, entonces, en tal arrollamiento de una capa, las partes frontales de las secciones se intersectarían, lo que requeriría el doblado de estas partes, cosa extremadamente indeseable desde el punto de vista de su construcción y bobinado.

A la capa situada cerca de la superficie exterior del inducido se le llama **capa superior**, y a la otra, **inferior**. La transición de una capa a otra se hace por la mitad de la parte frontal, como se muestra en la figura 3.10.

### 3.4.2.3 Construcción de los arrollamientos de un inducido de tambor

El elemento constructivo fundamental del arrollamiento de un inducido de tambor de una máquina de continua es la **sección del arrollamiento**. Se llama sección a la parte del arrollamiento que se encuentra entre dos delgas sucesivas.

En la figura 3.11, (a) y (b), se muestran en forma esquemática las secciones de dos espiras de los arrollamientos imbricado y ondulado.

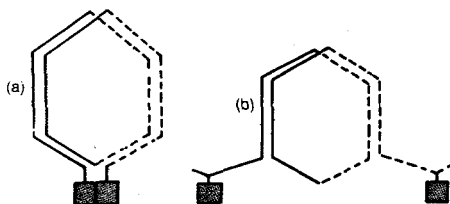


Fig. 3.11 Secciones de dos espiras de los arrollamientos:  
(a) imbricado simple, (b) ondulado simple.

Las secciones más simples son las de una sola espira, ampliamente empleadas en las máquinas de potencia media y de alta potencia. En lo sucesivo se considerará sólo los esquemas con secciones de una espira (los lados de las secciones situados en la capa superior se representarán con línea plena, y en la

capa inferior, con línea de trazos), puesto que el aumento del número de espiras influye sólo en la magnitud de la f.em.

En la figura 3.12 se representan las secciones de un arrollamiento imbricado.

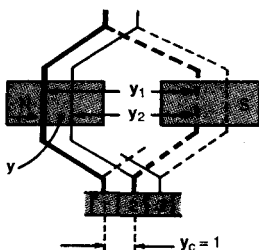


Fig. 3.12 Arrollamiento imbricado simple.

Para apreciar el arrollamiento ondulado simple hay que hacer un recorrido completo del inducido y correspondientemente del colector. Véase la figura 3.13.

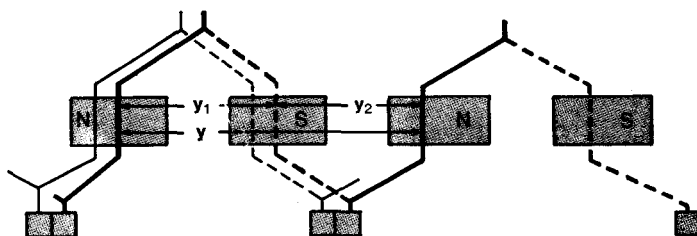
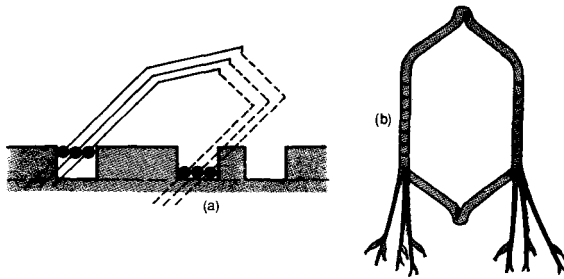


Fig. 3.13 Arrollamiento ondulado simple.

Las secciones del arrollamiento se hacen de conductores de cobre de sección circular o rectangular, aislados con hilo de algodón, esmalte, seda, cinta de mica, etc.

Cuando el número de secciones es grande y el de ranuras, pequeño (en máquinas de media y pequeña potencia), dos, tres, y en el caso general,  $n$  secciones se unen constituyendo una bobina con aislamiento común respecto a la ranura.

En la figura 3.14 se da una bobina de arrollamiento imbricado compuesta de tres secciones de una espira. El paso de la capa superior a la inferior se realiza doblando los conductores por la mitad de la parte frontal de la bobina. El arrollamiento hecho de tal modo se llama de bobina.

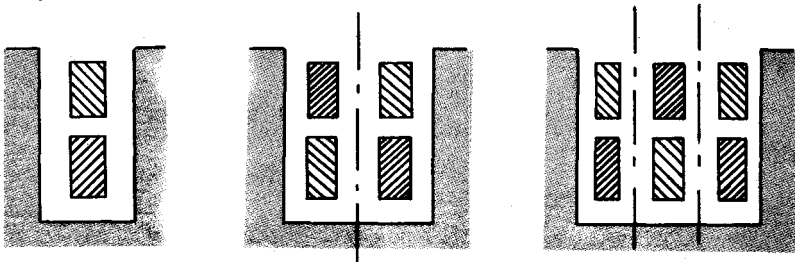


**Fig. 3.14** (a) Arrollamiento de iguales secciones.  
 (b) Bobina compuesta de tres secciones de una espira.

### 3.4.2.4 Pasos de un devanado

Para montar correctamente el arrollamiento en el inducido y conectarlo con el colector, es necesario conocer los pasos de arrollamiento en el inducido y en el colector.

Se llama paso de arrollamiento del inducido y la distancia, medida en ranuras elementales (ranura elemental es la que contiene dos lados activos, véase la figura 3.15), entre los lados activos correspondientes (es decir, secciones consecutivas de acuerdo con el esquema del arrollamiento (véanse las figuras 3.12 y 3.13).



**Fig. 3.15** Ranuras del inducido compuestas de (a) una, (b) dos y (c) tres ranuras elementales.

Se llama paso del arrollamiento en el colector o paso de delgas  $y_c$  la distancia entre las divisiones del colector a las que está conectada la sección, medida por el número de divisiones del colector.

Como se ve, en un devanado imbricado simple, el paso en el colector es igual a una división del colector, es decir,

$$y_c = 1$$

En la figura 3.16 se representan las secciones 1, 6, 11 y 12 de un devana-

do ondulado simple; este devanado se caracteriza porque al bobinarlo se recorre el inducido y correspondiente el colector, colocando en el inducido, debajo de cada par de polos una seccion y, abarcando en el colector un paso  $y_c$ .

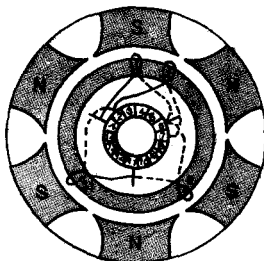


Fig. 3.16 Secciones de una espira del arrollamiento ondulado simple.

El requisito fundamental que debe satisfacer un devanado ondulado simple, consiste en que después de un recorrido del inducido y colector se debe llegar a la división del colector contigua a la de partida, situada a la izquierda o a la derecha de ella.

Si la máquina tiene  $p$  polos y el colector consta de  $s$  delgas, entonces en un recorrido se coloca en el inducido  $p/2$  secciones, y en el colector se desplaza a  $(p \cdot y_c)/2$  divisiones. De acuerdo con la condición.

$$\frac{p \cdot y_c}{2} = s + 1$$

de donde:

$$y_c = \frac{s + 1}{p/2}$$

En la máquina representada en la figura 3.16,  $p = 6$  y  $s = 14$ , entonces:

$$y_c = \frac{14 + 1}{6/2} = 5$$

Para el bobinado correcto del arrollamiento, ambos pasos deben ser numéricamente iguales y corresponderse entre si.

### 3.5 EL MODELO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

En la figura 3.17 se representa en forma esquemática y sencilla las partes más importantes de una máquina convencional de continua.

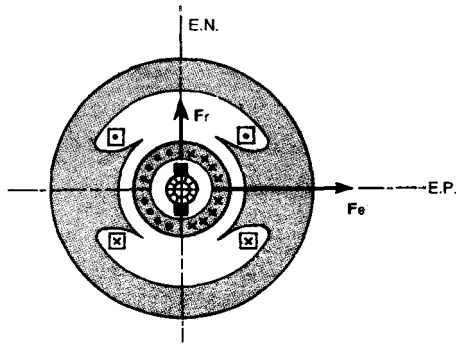


Fig. 3.17 Esquema real de una máquina de continua.

Obsérvese que las escobillas se han tenido que girar  $90^\circ$  para lograr un esquema más simple.

En la figura 3.18 se representa fielmente la misma máquina pero sólo con elementos de circuito eléctrico.

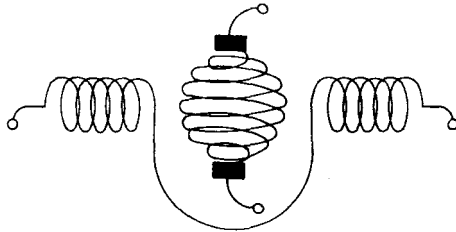


Fig. 3.18 Representación de la máquina de continua con elementos de circuito eléctrico.

Finalmente, en la figura 3.19 puede verse el modelo de circuito típico equivalente que se utiliza para representar con bastante exactitud a la máquina de continua, representación que se utilizará de ahora en adelante en la explicación de los fenómenos así como en la solución de problemas relacionados con el funcionamiento y operación de estas máquinas.

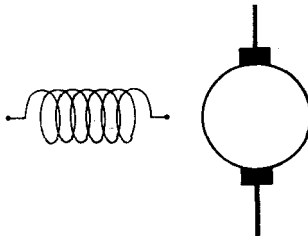


Fig. 3.19 Representación sencilla de los circuitos.