

# Maquinas Electricas

Daniel Carbajales

11 de octubre de 2024

# CONTENTS

CHAPTER	TEMA 1: MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO	PAGE 2
1.1	Magnetismo	Pg. 2
1.2	Campo magnético	Pg. 3
1.2.1	Flujo magnético	Pg. 3
1.2.2	Inducción magnética	Pg. 3
1.3	Electromagnetismo	Pg. 3
1.3.1	Campo magnético en un conductor	Pg. 3
1.3.2	Campo magnético en una espira	Pg. 4
1.3.3	Campo magnético en una bobina	Pg. 4
1.3.4	Intensidad de campo magnético	Pg. 4
1.3.5	Fuerza magnetomotriz	Pg. 4
1.3.6	Circuito magnético	Pg. 5
1.3.7	Materiales de los circuitos magnéticos	Pg. 5
1.3.8	Reluctancia magnética	Pg. 6
1.3.9	Curva de magnetización	Pg. 6
1.3.10	Permeabilidad magnetica	Pg. 7
1.3.11	Histeresis magnéticaa	Pg. 7
1.3.12	Corrientes de Foucault	Pg. 8
1.3.13	Fuerza ejercida sobre un conductor por el que circula una corriente	Pg. 9
1.3.14	Fuerza ejercida sobre una espira por la que circula una corriente	Pg. 9
1.3.15	Fuerza electromotriz ejercida en un conductor	Pg. 9
1.3.16	autoinducción	Pg. 9
CHAPTER	TEMA 2: MATERIALES Y HERRRAMIENTAS DEL BOBINADOR	PAGE 10
2.1	Materiales	Pg. 10
2.1.1	Hilo esmaltado	Pg. 10
2.1.2	Carretes para el hilo esmaltado	Pg. 10
2.1.3	Materiales aislantes	Pg. 11

## 1.1. Magnetismo

Las maquinas electricas (o maquinas de campo magnético) son un grupo de maquinas que basan su funcionamiento en los fenómenos provocados por el magnetismo y el electromagnetismo

### Definition 1.1.1: Magnetismo

Propiedad de algunos materiales en estado natural o para atraer Hierro ("Fe")

Los elementos que tienen esta propiedad son denominados imanes son clasificados en:

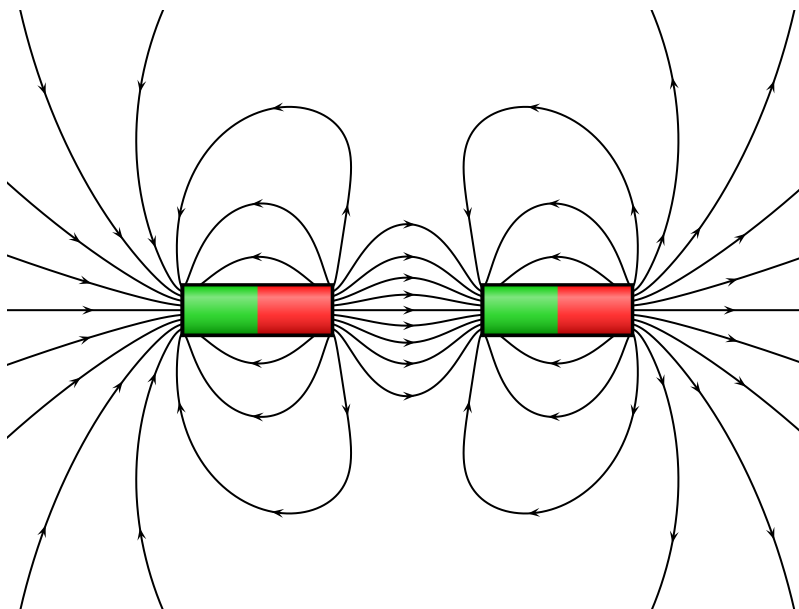
- **Imanes permanentes:** Aquellos en los que el efecto de imanación se mantienen de forma continuada.
- **Imanes temporales:** Aquellos en los que el efecto de imanación se mantiene mientras se produce un efecto de magnetización sobre ellos(Ex. Electroimanes.)

Otra clasificación los divide entre:

- **Naturales:** De origen mineral, poseen magnetismo de forma natural. Pueden ser cerámicos o de tierras raras
  - **Cerámicos:** Formados por bases de oxido de hierro( $Fe_2O_3$ ), estroncio ( $SrO$ ) y bario ( $BaO$ )
  - **Tierras raras:** Formados por elementos como el neodimio ( $Nd$ ) y el samario ( $Sm$ ) mucho mas potentes que los imanes cerámicos, con elevada remanencia y resistentes a elevadas temperaturas.
- **Artificiales:** Su campo magnético es generado mediante un estimulo externo Ex. holaEl acercamiento de otro *imán* o el paso de una *corriente eléctrica* proxima al metal.

Las partes de los polos con mayor fuerza magnetica se denominan **polos** (Norte y Sur) la linea que los une y donde hay menor magnetismo se denomina **Línea neutra**. los principales efectos del magnetismo son la atraccion de los polos "**opuestos**" y la repulsion entre polos "**iguales**".

Figure 1.1: Campos magnéticos.



## 1.2. Campo magnético

Region del espacio donde se perciben las fuerzas magnéticas de un imán o de un elemento magnetizado donde se produce un desplazamiento de cargas de **norte** a **sur** representadas graficamente las líneas de fuerza<sup>1.1</sup>. Si las líneas de fuerza son de polos opuestos se suman y los imanes se atraen por el contrario si las líneas de fuerza son de polos iguales se restan.

### 1.2.1. Flujo magnético

Nº total de líneas de fuerza que componen un campo magnético. Lo representa " $\Phi$ " su unidad es el Weber "Wb"

### 1.2.2. Inducción magnética

Nº de líneas de fuerza que traspasan una unidad de superficie. La "**inducción magnética**" o densidad de flujo magnético lo representa la letra " $\beta$ " y su unidad es el Tesla "T"

$$\Phi_{(Wb)} = \beta_{(T)} \cdot A_{(m^2)}$$

Equation: Relacion entre Flujo e Inducción

**Note:**

El instrumento de medida usado para conocer el valor de inducción magnética de un campo magnético se denomina : "**Teslámetro**"

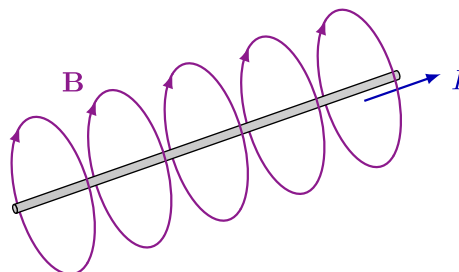
## 1.3. Electromagnetismo

Denominado electromagnetismo, el campo de la electrotecnia que estudia los fenómenos eléctricos y magnéticos y los efectos que producen.

### 1.3.1. Campo magnético en un conductor

Cuando un conductor recto lo atraviesa una corriente eléctrica se crea un campo magnético cuyas líneas de fuerza son circulares y concentricas al conductor. Si queremos conocer el sentido de las líneas de fuerza podemos usar la "**regla de la mano derecha**" como visto en 1.2 el pulgar representa **I** y los dedos alrededor del conductor representan **B**. El campo magnético en un conductor recto se encuentra difuminado y no tiene aplicacion practica.

Figure 1.2: Campo magnetico de un conductor recto.



**B:** Sentido del campo magnetico **I:** Sentido de la corriente

### 1.3.2. Campo magnético en una espira

Sin embargo en conductores con forma de espira los campos magnéticos generados tienden a concentrarse en el centro de la espira ampliándose la fuerza del campo magnético. Podemos conocer el sentido del campo magnético en una espira usando el método explicado anteriormente en la **sección: 1.3.1**

### 1.3.3. Campo magnético en una bobina

En caso de que deseemos conseguir un campo magnético superior al de la espira podemos unir varias espiras para formar una bobina o "**solenoides**".

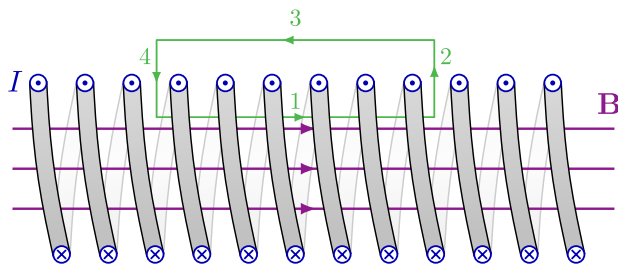


Figure 1.3: Solenoide

Usando este método podemos sumar los campos magnéticos parciales de las espiras. Para conocer el sentido del campo magnético en una bobina o solenoide podemos usar el método explicado en la **sección: 1.3.1** esta vez el sentido de cierre de los dedos alrededor del conductor representa "**I**" (sentido de la corriente) y hacia donde apunte el pulgar representa "**B**" (dirección líneas de fuerza).

### 1.3.4. Intensidad de campo magnético

Magnitud física que indica la fuerza o intensidad del campo magnético. Es representada por la letra "**H**". Su unidad es el amperio-vuelta/metro ( $A \cdot v / m$ ).

Por lo tanto un campo magnético tiene mayor intensidad cuanto mayor es la corriente "**I**" que lo recorre y el Nº de espiras "**N**" que lo forman. Y será menor a mayor longitud de la bobina o solenoide **L**

$$H = \frac{N \cdot I}{L}$$

### 1.3.5. Fuerza magnetomotriz

Magnitud física que describe la capacidad de un campo magnético de generar flujo magnético entre dos puntos de un circuito electromagnético. Esta magnitud nos permite mantener el campo magnético en un circuito electromagnético. Es representada por la letra "**F**" y es medida en amperios-vuelta ( $A \cdot v$ ).

Matemáticamente la fuerza magnetomotriz es directamente proporcional a la corriente "**I**" del circuito siendo constante el número de espiras "**N**" que lo forman.

$$\mathcal{F} = N \cdot I$$

$\mathcal{F}$ : Fuerza magnetomotriz

**N**: Nº de espiras

**I**: Corriente

Así podemos afirmar que equ: 1.3.4 es igual a:

$$H = \frac{\mathcal{F}}{L}$$

### 1.3.6. Circuito magnético

Si a un solenoide se le introduce una barra ferromagnética en su interior los efectos del campo magnético generado aumentan. Por lo que podemos deducir que un núcleo de cualquier material ferromagnético dentro de un circuito magnético aumenta la fuerza del campo magnético sin necesidad de aumentar la corriente " $I$ ". Las líneas de fuerza dependen de la forma del núcleo ferromagnético

El circuito magnético básico es denominado "*electroimán*" el cual consiste en un núcleo ferromagnético y una bobina alimentada por una fuente de tensión. Al aplicar una corriente a la bobina, el núcleo es magnetizado y atrae otros cuerpos ferromagnéticos, sin embargo al cortar la corriente de la bobina el núcleo pierde sus propiedades magnéticas.

En los circuitos con núcleo magnéticos al calcular la intensidad de campo ( $H$ ):  $L$  es el perímetro central del núcleo y no la longitud de la bobina.

### 1.3.7. Materiales de los circuitos magnéticos

Los materiales utilizados en los núcleos de los circuitos magnéticos poseen distintas propiedades y no todos se comportan igual ante el campo magnético que general o al que se ven expuestos. En los materiales hay cierto tipo de átomos denominados *spines* que tienen una orientación magnética propia y dependiendo de la orientación y magnitud de los *spines* podemos diferenciar los materiales en:

- **Diamagnéticos:** En estos materiales los *spines* no tienen campo magnético pero al inducirles un campo magnético sus *spines* se orientan en el sentido contrario del campo magnético inducido. Debido a esta propiedad se dice que los materiales diamagnéticos no interactúan con otros materiales magnéticos.  
(*Ex.* Oro, Silicio, Cobre, Hidrógeno, Helio, Germanio, Bronce, Grafito, etc.)
- **Paramagnéticos:** En estos materiales los *spines* tienen campo magnético propio y al inducirlos con un campo magnético externo, dichos *spines* tienden a orientarse ligeramente en la dirección del campo magnético.  
(*Ex.* Aire, Titanio, Aluminio, etc.)
- **Ferromagnéticos:** En estos materiales los *spines* tienen campo magnético y al inducirlos con un campo magnético externo, dichos *spines* tienden a orientarse en la dirección del campo magnético. El hierro es el material por excelencia no obstante suele alearse para obtener mejores resultados, como los imanes de "*neodimio*" ( $Nd_2Fe_{14}B$ ).  
(*Ex.* Hierro, Cobalto, Níquel, etc.)



Figure 1.4: Spines en estado natural

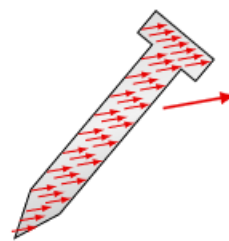


Figure 1.5: Spines siguiendo líneas de fuerza

### 1.3.8. Reluctancia magnética

Al igual que la resistencia " $\Omega$ " de un conductor eléctrico, la Reluctancia " $R$ " es la propiedad que tienen los materiales ferrmagnéticos de tener una mayor o menor oposición a la formación de líneas de fuerza de un campo magnético.

Según la *Ley de Hopkinson*: establecemos la siguiente expresión en la que el flujo magnético " $\Phi$ " es directamente proporcional a la fuerza magnetomotriz " $\mathcal{F}$ " e inversamente proporcional a la reluctancia " $R$ ":

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{R}$$

Por lo tanto definimos la reluctancia como:

$$R = \frac{\mathcal{F}}{\Phi}$$

Y la fuerza magnetomotriz como:

$$\mathcal{F} = \Phi \cdot R$$

### 1.3.9. Curva de magnetización

Al conectar una fuente de tensión variable a un circuito magnético, y usando un teslámetro para medir la inducción magnética  $\beta$  generada observaremos que en un inicio con poca variación de la intensidad de campo magnético  $H$ , la  $\beta$  aumentara rapidamente hasta llegar a un punto donde se estabilice, zona la cual es denominada de saturación, debido a que  $\beta$  no aumenta aunque  $H$  lo haga considerablemente.

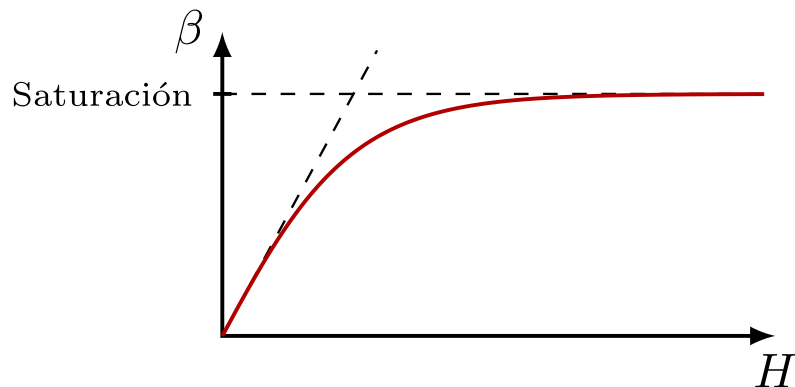


Figure 1.6: Curva de magnetización

### 1.3.10. Permeabilidad magnética

Es la *capacidad* que tienen los materiales de magnetizarse, podemos decir que la permeabilidad magnética es la magnitud inversa a la reluctancia. Es representada con la letra " $\mu$ " (Mu) y su unidad es el *henrio/metro* (H/m). Matemáticamente es la relación entre la inducción " $\beta$ " y el campo magnético " $H$ "

$$\mu = \frac{\beta}{H}$$

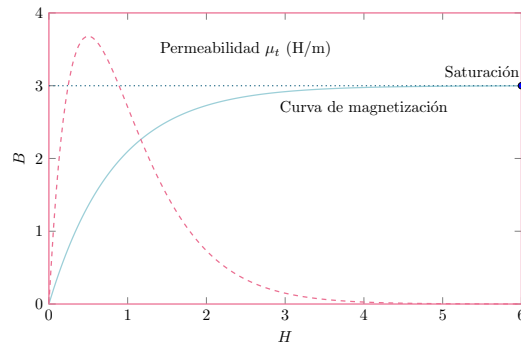


Figure 1.7: Equ: Permeabilidad magnética y Curvas

### 1.3.11. Histeresis magnética

Cuando sometemos a un material ferromagnético a un campo magnético externo, el material presentará un efecto de *magnetización*, sin embargo cuando los efectos del campo magnético externo cesan, podemos observar que los materiales presentan indicios de imanación.

A este efecto se le denomina *remanencia*, propiedad que tienen los materiales ferromagnéticos de mantener los efectos de magnetización una vez finalizado el campo magnético externo.

Aunque la remanencia es favorable en la creación de imanes permanentes es contraproducente para la fabricación de imanes y máquinas eléctricas; debido a que pueden producir pérdidas de energía por exceso de calor.

El estudio de la remanencia se realiza mediante el análisis de lo denominado *histéresis magnética*. Este proceso consiste en la representación gráfica del comportamiento de un material ferromagnético sometido a un campo magnético del cual se modifican los valores de  $\beta$  y de  $H$  mediante el denominado "*ciclo de histéresis*".

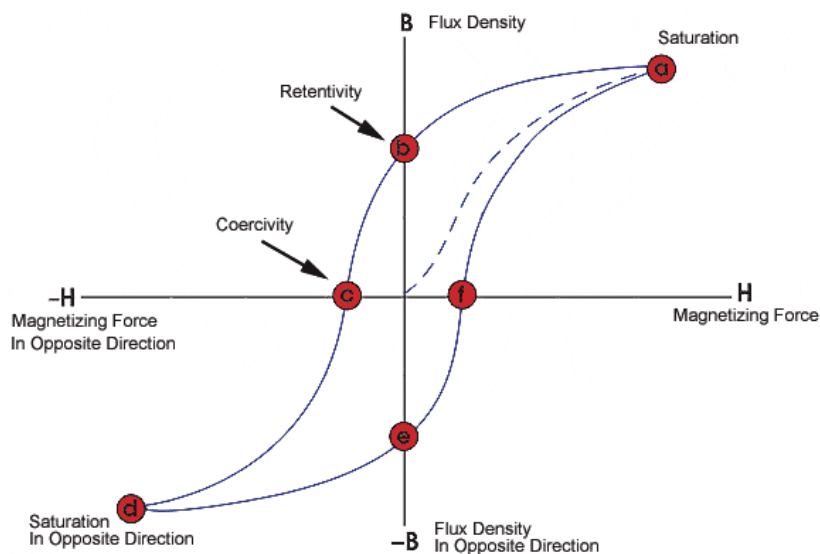


Figure 1.8: Ciclo de Histéresis



### Explicación del efecto de histéresis:

Debemos disponer de un material que no haya sido sometido con anterioridad a un campo magnético:

1. Partimos del centro de la grafica y los valores de  $\beta$  y  $H$  son van aumentando progresivamente y obtenemos pares de valores de ambas magnitudes. Y la curva de imanación progresa como representado la 1.8 por la linea discontinua.
2. Alcanzado el punto de saturación (a), los valores de  $\beta$  y  $H$  se van disminuyendo con la misma pauta utilizada para la curva anterior. Y observamos que cuando  $H$  es 0, el campo  $\beta$  no lo es, presentandose un valor " $\beta_R$ " ( $R \rightarrow$  remanencia).
3. Si continuamos asignando valores negativos a la intensidad de campo " $H$ ", el campo sera nulo cuando alcancemos el punto  $-H_C$  ( $C \rightarrow$  coercividad) correspondiente al denominado campo de coercividad. El cual deberemos aplicar a  $H$  para que desaparezca por completo la remanencia del material.
4. Si continuamos asignando valores negativos a  $\beta$  y  $H$  llegaremos al punto de saturación contrario  $m$ .
5. Disminuiremos la asignación de valores a  $\beta$  y  $H$  y observaremos que cuando la intensidad de campo  $H$  es 0, el campo  $\beta$  no lo es, presentandose un valor " $-\beta_R$ " que representa el magnetismo remanente de la polaridad opuesta.
6. Si continuamos asignando valores positivos a  $H$  y negativos a  $\beta$ , alcanzaremos el punto  $H_C$  contrario que necesitaremos aplicar para que el material pierda la remanencia.

Podemos clasificar los materiales ferromagnéticos como "**duros**" y "**blandos**" en funcion del tamaño de su campo coercitivo. Usaremos materiales duros para la fabricación de imanes permanentes y materiales blandos para la fabricación de núcleos de máquinas rotativas o transformadores.

En la fabricación de máquinas eléctricas deberemos tener en cuenta las pérdidas por histéresis manifestadas en forma de calor, las cuales son mayores a mayor es el area que abarca la curva del ciclo de histéresis. Por lo que en la fabricación de máquinas eléctricas que generen campos variables (como las de corriente alterna) deben fabricarse con los materiales mas blandos posibles.

### 1.3.12. Corrientes de Foucault

En núcleos ferromagnéticos sometidos a un campo eléctrico se producen unas series de corrientes inducidas con forma de bucle en el interior del núcleo, las cuales se oponen a al campo magnético del exterior, provocando que los electrones choquen constantemente generando calor y perdidas de energía.

Por este motivo los núcleos de las máquinas eléctricas de corriente alterna se construyen con finas chapas de hierro al silicio aisladas entre si, lo cual reduce considerablemente las corrientes de Foucault.

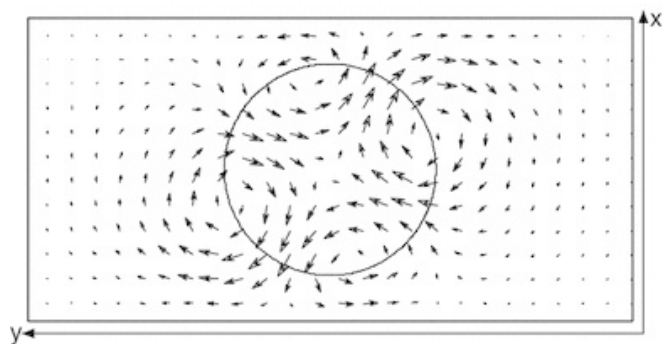
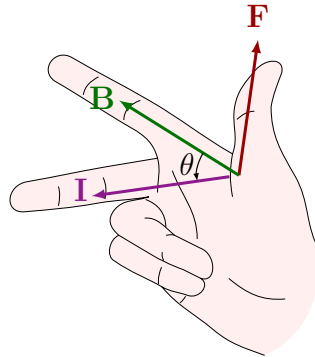


Figure 1.9: Corrientes de Foucault

### 1.3.13. Fuerza ejercida sobre un conductor por el que circula una corriente

Si se somete a un conductor por el que circula una corriente eléctrica a un campo magnético, el conductor tiende a salir del dicho campo en el sentido dado por la regla de los tres dedos de la mano izquierda (flemmings left hand rule). La aplicaremos de la siguiente forma:

- Dedo índice indica el sentido del campo  $\beta$
- Dedo pulgar indica el sentido de la fuerza  $F$
- Dedo medio indica el sentido de la corriente eléctrica  $I$



**Note:**

También se puede representar el sentido del campo  $\beta$  sobre el papel una "x" indicara un campo entrante y un "." indica un campo saliente.

### 1.3.14. Fuerza ejercida sobre una espira por la que circula una corriente

### 1.3.15. Fuerza electromotriz ejercida en un conductor

### 1.3.16. autoinducción

## 2.1. Materiales

### 2.1.1. Hilo esmaltado

Conductor eléctrico por excelencia utilizado en la fabricación de circuitos electromagnéticos de máquinas eléctricas. Aunque el cobre es el más utilizado en circuitos cuya ligereza sea importante se usara aluminio. Sin embargo el aluminio representa desventajas respecto al cobre, es difícil de soldar sin herramientas especiales y tiene una menor resistencia a las torsiones, lo que facilita su rotura y deformación al manipularlo.

Al igual que otros materiales y dispositivos utilizados en electrotecnia, los cables esmaltados están estandarizados, siendo las principales normas las siguientes:

- **IEEC 60317:** Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional, usada en Europa y Asia (excepto Japón).
- **NEMA MW 1000:** Norma de la National Electrical Manufacturers Association de Norteamérica, aplicada en Norteamérica y en países de Latinoamérica.
- **JIS C 3202:** Norma de la Japanese Standards Association y de aplicación exclusiva en Japón.

Son comercializados con distintas formas (Ex. Circular, rectangular o cuadrado) distintas geometrías permiten aprovechar el espacio de los carretes (transformadores) y los espacios de las ranuras (máquinas rotativas).

Las principales características que deberemos conocer son:

- **Díámetro:** El hilo esmaltado es distribuido por su diámetro y no por su sección como los conductores típicos
- **Tipo y espesor del esmalte:** Fabricados usualmente con barnices de poliéster, poliuretano, poliésteramida. Su espesor está definido por su tensión de ruptura dividiéndose entre grado 1, grado 2, grado 3.
- **Valor térmico:** Índice máximo para que el conductor trabaje 20.000 horas (a menor temperatura de trabajo mayor es la vida útil del conductor).
- **Soldabilidad:** Capacidad del conductor para unirse a otros conductores o materiales. expresado en segundos/ temperatura.
- **Peso:** El hilo esmaltado a diferencia de los conductores de línea se compra al peso.
- **Resistencia eléctrica nominal:** Oposición que presenta el conductor al flujo de corriente eléctrica.
- **Tensión de perforación del aislamiento:** Valor en voltios por el que se deteriora el esmalte.

### 2.1.2. Carretes para el hilo esmaltado

Sirven para empaquetar el hilo esmaltado, al estar normalizados en tamaño y forma permiten su uso en distintas marcas de bobinadoras. Son fabricados en distintos tamaños y formas (Cilíndrico, Biconico y Angular).

### 2.1.3. Materiales aislantes

Su objetivo es el de aislar los conductores del bobinado, pueden ser sólidos o líquidos, dentro de los sólidos pueden ser, rígidos o flexibles.

Al igual que con otros materiales, el fabricante nos proporciona una serie de características las de mayor interés son las siguientes:

- **Espesor:** Dado en milímetros, los materiales de lámina flexible son de 0,1 a 3.00 mm, mientras que los de tipo rígido pueden tener varios centímetros de grosor
- **Rígidez dieléctrica:** Expresado en Kv/mm (Kilovoltios/milímetro) nos da a conocer el límite donde el material pierde sus propiedades aislantes.
- **Clase térmica:** Temperatura máxima a la que pueden ser sometidos los materiales sin que pierdan sus propiedades aislantes. Normalizado en "Grados celcius" (C).

#### Aislantes flexibles

Se presentan en láminas de papel o de cartón flexible, utilizados para aislar los devanados una máquina eléctrica entre sí y con cualquier parte metálica próxima a ellos. Sus principales características son:

- Alta resistencia a la abrasión.
- Buena resistencia térmica.
- Alto poder dieléctrico.
- bajo índice de absorción de agua y humedad.

Uno de los aislantes más utilizados dentro de esta categoría es el denominado Presspan el cual suele ser combinado con otros materiales (*Ex.* película de poliéster). No obstante existen otros muchos aislantes que tienen mejores prestaciones tanto mecánicas como eléctricas, que complementan o sustituyen al Presspan. Tales como: El papel crepe, la fibra vulcanizada, el kapton, voltaflex y nomex.