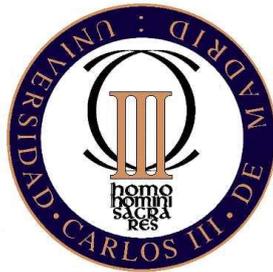


**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Circuitos Magnéticos y Transformadores**  
**Prácticas de Laboratorio**

**PRÁCTICA 1**  
**LA BOBINA REAL CON NÚCLEO DE HIERRO**

ANGEL RAMOS GÓMEZ

Versión 2  
Diciembre de 2010

## Indice

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA
2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA
  - 2.1. Circuito equivalente de una bobina real con núcleo de hierro
  - 2.2. Flujo magnético creado al aplicar tensión a una bobina
  - 2.3. Influencia del circuito magnético en la inductancia de la bobina
  - 2.4. Pérdidas de los circuitos ferromagnéticos
  - 2.5. Curva de magnetización de los materiales ferromagnéticos
  - 2.6. Corriente consumida por una bobina real con núcleo de hierro
3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA
  - 3.1. Cálculo de parámetros y comprobación de propiedades de la bobina de núcleo de hierro
  - 3.2. Fenómenos de histéresis y saturación de un circuito magnético
4. TIEMPOS PREVISTOS PARA LA PRÁCTICA
5. EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

HOJA DE RESULTADOS

## 1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

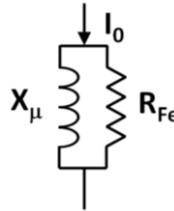
Los principales objetivos de la Práctica 1 son:

- ✓ Identificar y calcular los parámetros de una bobina real con núcleo de hierro
- ✓ Analizar las propiedades de las bobinas reales con núcleo de hierro:
  - Dependencia del coeficiente de autoinducción de la bobina con el número de espiras y el grado de saturación del circuito magnético
  - Verificar que para unas mismas condiciones de inducción magnética:
    - La inductancia es proporcional al cuadrado del número de espiras
    - La resistencia de pérdidas en el hierro varía con el cuadrado del número de espiras
    - Las pérdidas en el hierro son constantes
  - Verificar que para un mismo número de espiras:
    - La resistencia de pérdidas en el hierro es constante
    - Las pérdidas en el hierro varían con el cuadrado de la tensión aplicada
- ✓ Observar los fenómenos de histéresis y saturación de los circuitos magnéticos

## 2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

### 2.1. Circuito equivalente de una bobina real con núcleo de hierro

A diferencia de las bobinas con núcleo de aire, una bobina con núcleo de hierro produce una serie de pérdidas en el circuito magnético, por lo que su factor de potencia no es nulo. Por ello, una bobina real con núcleo de hierro se puede representar por medio de una resistencia y una inductancia en paralelo.



**Figura 1: Circuito equivalente de una bobina real con núcleo de hierro**

La resistencia del circuito equivalente se obtendrá a partir de la potencia activa consumida por la bobina cuando se aplica una tensión sobre la misma:

$$R_{Fe} = U_{ef}^2 / P_{Fe} \quad (1)$$

El factor de potencia de la bobina se calculará como el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente consumidas por la bobina:

$$\cos \varphi = P_{Fe} / (U_{ef} \cdot I_{ef}) \quad (2)$$

La inductancia del circuito equivalente se obtendrá dividiendo la tensión aplicada entre la corriente que circula por dicha inductancia:

$$X_{\mu} = U_{ef} / (I_{ef} \cdot \sin \varphi) = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (3)$$

siendo  $\varphi$  el desfase entre la tensión aplicada y la intensidad que circula por la bobina, que se obtiene a partir de (2).

### 2.2. Flujo magnético creado al aplicar tensión a una bobina

Según se expuso en las clases de teoría de Circuitos Magnéticos y Transformadores, al aplicar una tensión de alimentación a una bobina, se crea un flujo magnético según establece la ley de Faraday:

$$u = N \cdot d\phi/dt \quad (4)$$

En el caso de aplicar una tensión de corriente alterna sinusoidal, y teniendo en cuenta la relación entre el flujo y la inducción magnética en un circuito ferromagnético, se puede deducir fácilmente que:

$$U_{ef} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot B \cdot S_{Fe} \quad (5)$$

### 2.3. Influencia del circuito magnético en la inductancia de la bobina

Tal y como se demostró en las clases de teoría, el valor de la inductancia o coeficiente de autoinducción de una bobina viene dado por la expresión:

$$L = N^2 / \mathcal{R} \quad (6)$$

donde el valor de la reluctancia del circuito magnético  $\mathcal{R}$ , depende de las dimensiones geométricas del circuito magnético así como de su permeabilidad  $\mu$ :

$$\mathcal{R} = L_{Fe} / (\mu \cdot S_{Fe}) \quad (7)$$

En el caso de bobinas con núcleo de hierro, la permeabilidad dependerá del grado de saturación del circuito magnético, y por tanto, de la magnitud de la inducción en dicho circuito.

### 2.4. Pérdidas de los circuitos ferromagnéticos

Las pérdidas en los circuitos ferromagnéticos (conocidas como pérdidas en el hierro) se pueden dividir en aquellas debidas a la característica de histéresis del material (pérdidas por histéresis) y aquellas debidas a la circulación de corrientes inducidas en el núcleo (pérdidas por corrientes de Foucault).

Las pérdidas por histéresis vienen dadas por la expresión:

$$P_{\text{Histéresis}} = K_H \cdot f \cdot B^n \cdot \text{Vol}_{Fe} \quad (8)$$

siendo  $n$  un coeficiente cuyo valor está comprendido entre 1,6 y 2 para chapas magnéticas laminadas en caliente y superior a 2 para chapas magnéticas laminadas en frío, que, por simplicidad en el desarrollo posterior se tomará igual a 2.

Por su parte, las pérdidas por corrientes de Foucault vienen dadas por:

$$P_{\text{Foucault}} = K_F \cdot f^2 \cdot B^2 \cdot \text{Vol}_{Fe} \quad (9)$$

De lo anterior se deduce que, para un circuito magnético alimentado a una frecuencia constante, las pérdidas en el hierro se pueden expresar como:

$$P_{Fe} = K \cdot B^2 \cdot \text{Vol}_{Fe} \quad (10)$$

Una forma alternativa de expresar las pérdidas en el hierro teniendo en cuenta la expresión (5) sería:

$$P_{Fe} = (K \cdot U^2 \cdot \text{Vol}_{Fe}) / (4,44 \cdot f \cdot N \cdot S_{Fe})^2 = \text{cte} \cdot U^2 / N^2 \quad (11)$$

Como se indicó en el apartado 2.1, la presencia de la resistencia  $R_{Fe}$  en el circuito equivalente, se emplea para justificar o representar la existencia de las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault:

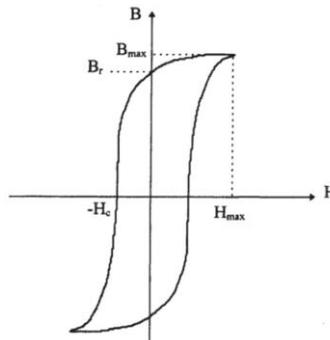
$$P_{Fe} = R_{Fe} \cdot I_{Fe}^2 = U^2 / R_{Fe} \quad (12)$$

## 2.5. Curva de magnetización de los materiales ferromagnéticos

La relación entre la inducción magnética que se establece en un circuito magnético y el campo magnético que la crea depende de las características del material, en este caso de su permeabilidad magnética:

$$B = \mu \cdot H \quad (13)$$

En el caso de circuitos ferromagnéticos, la curva B-H presenta fenómenos de histéresis tal y como se observa en la figura 2:



**Figura 2: Curva de magnetización de un material ferromagnético**

En el caso de una bobina real con núcleo de hierro, para valores pequeños de inducción, a medida que ésta se va aumentando (o como se puede deducir de la expresión (5), al ir aumentando la tensión aplicada a la bobina), la pendiente de la curva ( $\mu$ ) aumenta.

Sin embargo, si se continuara incrementando la tensión aplicada, se observaría que la pendiente disminuye. Este fenómeno es conocido como saturación del circuito magnético.

De las expresiones (6) y (7) se deduce que, al igual que  $\mu$ , la inductancia de la bobina aumentará para tensiones crecientes hasta alcanzar la saturación, momento en el que disminuirá.

## 2.6. Corriente consumida por una bobina real con núcleo de hierro

Como se ha indicado en la expresión (5), el flujo que se establece en una bobina depende de la tensión aplicada.

Para crear el flujo magnético es preciso tomar de la red una cierta intensidad. El valor de dicha intensidad se puede obtener aplicando la ley de Ampere al circuito magnético ( $H \cdot L_{Fe} = N \cdot i$ ) y teniendo en cuenta la curva B-H.

Como se dedujo en (4) a partir de la ley de Faraday, al aplicar una tensión sinusoidal a la bobina se engendrará un flujo sinusoidal. Puesto que la inducción B es proporcional al flujo y el campo magnético H es proporcional a la corriente consumida por la bobina, de la relación no lineal B-H se deduce que el flujo y la corriente no pueden ser simultáneamente sinusoidales.

Dado que el carácter sinusoidal del flujo viene impuesto por la tensión de red que alimenta la bobina, la corriente que circulará por la misma no podrá ser sinusoidal, siendo la distorsión de la forma de onda tanto más acusada cuanto más se entre en la zona de saturación del núcleo de hierro.

### 3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

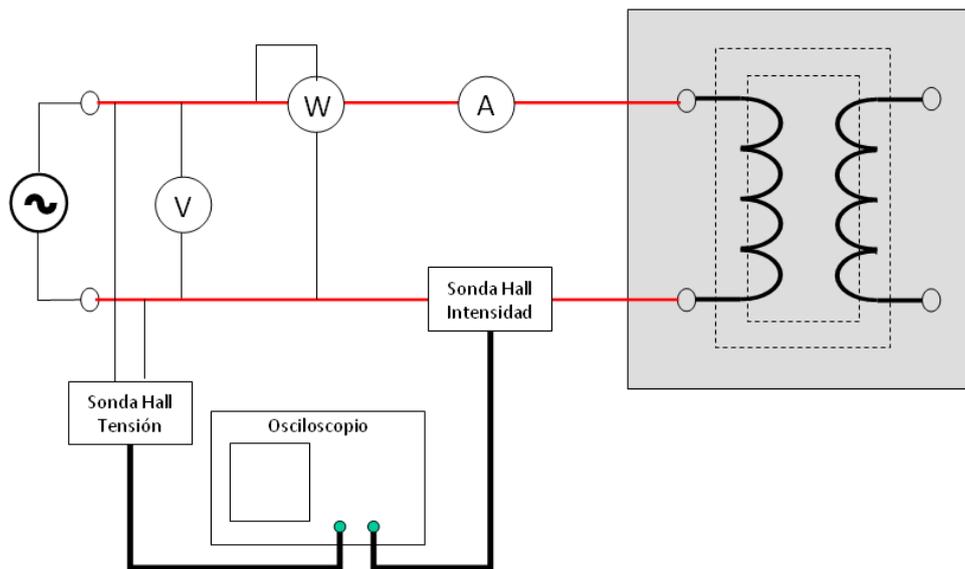
#### 3.1. Cálculo de parámetros y comprobación de propiedades de la bobina de núcleo de hierro

Para estudiar el comportamiento de una bobina real con núcleo de hierro se utilizará el arrollamiento primario de un transformador monofásico (que dispone de tomas en dicho arrollamiento), con el arrollamiento secundario en vacío. El número de espiras de la bobina dependerá de la toma elegida.

La bobina se energizará con una fuente de alimentación de corriente alterna monofásica, en cuyo circuito de alimentación se medirán la intensidad, tensión y potencia activa por medio de un multímetro.

La visualización en el osciloscopio de las señales de intensidad y tensión se realizará intercalando sondas Hall, tal y como se indica en la figura 3. Esta figura es conceptual dado que el aparato de medida a utilizar para medir intensidad, tensión y potencia es un multímetro.

*Nota importante:* Para la medida de intensidad se utilizará la entrada de amperios del multímetro (no la de miliamperios).



**Figura 3: Circuito a montar para el estudio del comportamiento de la bobina real con núcleo de hierro**

Se aplicará a la bobina una tensión de alimentación creciente lo más próxima posible al valor " $U_{ref}$  (V)" indicado en la tabla 1, tomando nota de los valores medidos de la tensión eficaz aplicada a la bobina, de la intensidad eficaz que circula por ella y de la potencia activa consumida. Ello se realizará para dos tomas distintas de la bobina (toma de 190 V y toma de 110 V), aplicando las distintas tensiones de referencia indicadas en la tabla 1.

Adicionalmente, se observará en el osciloscopio el valor de cresta de la intensidad, que también se anotará en la tabla. Como paso previo, se deberán ajustar en el osciloscopio las escalas de tiempo y de las señales procedentes de las sondas Hall de tensión e intensidad.

*Nota:* la forma de onda de la intensidad, especialmente con bajas tensiones aplicadas, se puede ver fuertemente influida por el efecto de la sonda hall (en especial la presencia de un Offset).

Ensayo	Toma seleccionada	$U_{ref}$ (V)	$U_{ef}$ ensayo (V)	$I_{ef}$ ensayo (A)	$I_{max}$ ensayo (A)	$P_{ensayo}$ (W)
1	190 V	50				
2	190 V	100				
3	190 V	150				
4	190 V	190				
5	190 V	235				
6	110 V	87				
7	110 V	110				
8	110 V	136				

**Tabla 1: Toma de datos para el cálculo de la inductancia de la bobina**

A continuación se enuncian una serie de ejercicios que serán realizados por el alumno con posterioridad a la práctica, de cara al análisis de los parámetros y propiedades de la bobina real con núcleo de hierro.

**EJERCICIO 1:**

El objetivo de este ejercicio es calcular los parámetros de la bobina a partir de los valores medidos en los ensayos de la tabla 1. A partir de dichas medidas se calcularán los valores de los parámetros  $R_{Fe}$  y  $X_{\mu}$  por medio de las expresiones (1), (2) y (3) indicadas en la introducción teórica.

Ensayo	Toma	$\cos \varphi_0$	$\varphi_0$ (°)	$R_{Fe}$ ( $\Omega$ )	$X_{\mu}$ ( $\Omega$ )	L (mH)
1	190 V					
2	190 V					
3	190 V					
4	190 V					
5	190 V					
6	110 V					
7	110 V					
8	110 V					

**Tabla 2: Cálculo de parámetros a partir de las medidas de la tabla 1**

**EJERCICIO 2:**

El objetivo de este ejercicio es comprobar que para una misma inducción magnética (B), la inductancia (L) es proporcional al cuadrado del número de espiras (N).

Como se indicó, la inductancia viene dado por la expresión:

$$L = N^2/\mathcal{R} \tag{6} \text{ rep}$$

en la cual se evidencia la proporcionalidad de la inductancia con el cuadrado del número de espiras para una misma reluctancia  $\mathcal{R}$ , que a su vez depende de la geometría del circuito magnético y de su permeabilidad magnética, que es constante para un misma inducción magnética.

Para comprobar esto, se realizarán medidas en la bobina que permitan calcular la inductancia manteniendo la inducción magnética constante y variando el número de espiras.

Dado que no es posible medir la inducción magnética, se tendrá en cuenta la expresión (5) de forma que, para la bobina de la práctica, la inducción es proporcional a la tensión aplicada por espira (voltios/espira):

$$B = \text{cte} \cdot U/N \tag{14}$$

De ello se deduce que las medidas realizadas para una misma tensión aplicada por espira (U/N) son equivalentes a realizarlas con una misma inducción magnética.

En la bobina de la práctica no se dispone del número de espiras pero, dado que se conoce la tensión asignada para las distintas tomas, es equivalente el cociente tensión aplicada por espira (U/N) al cociente tensión aplicada por tensión asignada de toma (U/U<sub>toma</sub>).

A partir de los ensayos realizados con el circuito de la figura 3, se identificarán los grupos de medidas de la tabla 1 realizados con una misma tensión aplicada por espira (misma inducción magnética).

Ensayo	Toma	U <sub>ref</sub> (V)	Tensión por espira (V/esp)	Grupo de medida
1	190 V	50	0,26	-
2	190 V	100	0,53	-
3	190 V	150	0,79	G1
4	190 V	190	1	G2
5	190 V	235	1,24	G3
6	110 V	87	0,79	G1
7	110 V	110	1	G2
8	110 V	136	1,24	G3

**Tabla 3: Medidas de la tabla I agrupadas en "grupos de medida"**

Con estos grupos de medidas de inducción constante (tensión por espira constante) se comprobará la relación de  $L$  (análogamente se podría hacer con  $X_\mu$ ) con el cuadrado del número de espiras para una inducción constante.

Para cada una de las parejas de ensayos realizados bajo las mismas condiciones de inducción se comprobará que la relación  $L/N^2$  es aproximadamente constante. Dado que para el transformador monofásico de la práctica no se conoce el número de espiras se utilizará en su lugar la tensión asignada de toma, dado que ambos parámetros son proporcionales ( $L/U_{\text{toma}}^2$ ).

Para los grupos de medida indicados, se anotará en la tabla 4 el valor de las inductancias calculadas en la tabla 2. Por otro lado, utilizando los ensayos en la toma de 190 V como referencia, se calculará la inductancia que debiera obtenerse para la toma de 110 V, indicando el error cometido en el cálculo al compararlo con el valor obtenido a partir de las medidas.

$$L_{\text{ensayo 190 V}} / U_{\text{toma 190 V}}^2 = L_{\text{calculada 110 V}} / U_{\text{toma 110 V}}^2 \quad (15)$$

$$\text{Error } \varepsilon (\%) = 100 \cdot (L_{\text{calculada 110 V}} - L_{\text{ensayo 110 V}}) / L_{\text{ensayo 110 V}} \quad (16)$$

Grupo de medida	Ensayos Toma 190 V		Ensayos Toma 110 V		Cálculos	
	$L_{\text{ensayo}}$	$L_{\text{ensayo}} / U_{\text{toma}}^2$	$L_{\text{ensayo}}$	$L_{\text{ensayo}} / U_{\text{toma}}^2$	$L_{\text{calculada 110 V}}$	$\varepsilon (\%)$
G1						
G2						
G3						

**Tabla 4: Cálculo de la inductancia en la toma de 110 V a partir de la inductancia medida en la toma de 190 V y comprobación de la constancia en la relación  $L/N^2$**

### EJERCICIO 3:

El objetivo de este ejercicio es comprobar que para unas mismas condiciones de inducción magnética ( $B$ ), las pérdidas en el hierro ( $P_{\text{Fe}}$ ) se mantienen constantes, tal y como se deduciría de la expresión (10):

$$P_{\text{Fe}} = K \cdot B^2 \cdot \text{Vol}_{\text{Fe}} \quad (10) \text{ rep}$$

Para realizar esta comprobación, se considerarán los grupos de medidas del ejercicio 2 en los que se tenía una misma tensión aplicada por espira (misma inducción magnética).

Se partirá de los valores de potencia activa medidos en los ensayos realizados con el circuito de la figura 3, considerando que toda la potencia activa medida es debida a las pérdidas en el hierro. Esta aproximación es adecuada cuando la tensión aplicada a la bobina es reducida, ya que en estas condiciones la corriente que circula por la bobina es pequeña y las pérdidas en el cobre resultan despreciables. En el caso de medidas realizadas en condiciones de saturación del núcleo magnético, la corriente de vacío aumenta considerablemente; en esta

situación, las pérdidas en el cobre ya no son tan despreciables y la aproximación anterior nos puede conducir a errores considerables.

Grupo de medida	$P_{Fe}$ toma 190 V	$P_{Fe}$ toma 110 V	Valor medio $P_{Fe}$	$\varepsilon$ (%)
G1				
G2				
G3				

**Tabla 5: Comparación de las pérdidas en el hierro a diferentes tensiones e idéntica inducción**

#### EJERCICIO 4:

El objetivo de este ejercicio es comprobar que si el número de espiras de la bobina permanece constante, la resistencia de pérdidas también permanece constante.

De las expresiones (1) y (11) de la introducción teórica se obtuvo:

$$R_{Fe} = U^2 / P_{Fe} \quad \text{y} \quad P_{Fe} = \text{cte} \cdot (U/N)^2$$

de donde se deduce que si el número de espiras permanece constante, también lo será la resistencia de pérdidas.

Para realizar esta comprobación, se considerarán los valores del ejercicio 1 en los que se tenía un mismo número de espiras, es decir aquellos en los que se tenía una misma tensión asignada de toma.

Ensayo	Toma	$R_{Fe}$ ( $\Omega$ )	Valor medio $R_{Fe}$ ( $\Omega$ )
2	190 V		
3	190 V		
4	190 V		
5	190 V		
6	110 V		
7	110 V		
8	110 V		

**Tabla 6: Comparación de la resistencia de pérdidas en el hierro para un número de espiras dado y diferentes tensiones aplicadas**

*Nota: Se ha despreciado la medida a 50 V porque la precisión del vatímetro conduce a un error relevante.*

**EJERCICIO 5:**

Como complemento al ejercicio anterior, el objetivo de este ejercicio es comprobar que la resistencia de pérdidas depende del cuadrado del número de espiras de la bobina.

Sustituyendo la expresión (11) de la introducción teórica en la expresión  $R_{Fe} = U^2 / P_{Fe}$  se comprueba que:

$$R_{Fe} = cte \cdot N^2 \quad (17)$$

A partir de las medidas del ejercicio 4, comprobar que  $R_{Fe} / N^2 = cte$ .

Toma	Valor medio $R_{Fe}$ ( $\Omega$ )	$R_{Fe} / U^2$ toma
190 V		
110 V		

**Tabla 7: Dependencia de la resistencia de pérdidas en el hierro con el número de espiras**

**EJERCICIO 6:**

El objetivo de este ejercicio es comprobar que si permanece constante el número de espiras de la bobina, las pérdidas en el hierro dependen del cuadrado de la tensión aplicada.

Como se obtuvo en la introducción teórica y en el ejercicio 4:

$$P_{Fe} = cte \cdot (U/N)^2 \quad (11) \text{ rep}$$

de donde se deduce que para un determinado número de espiras:

$$P_{Fe} = cte \cdot U^2 \quad (18)$$

A partir de las medidas de los ensayos realizados con el circuito de la figura 3 se tratará de comprobar que efectivamente  $P_{Fe} / U^2 = cte$ . Para ello en los distintos ensayos realizados con un mismo número de espiras (misma tensión asignada de toma), utilizando como referencia el valor de pérdidas en el hierro obtenido al aplicar la tensión asignada, calcular las pérdidas que corresponderían al resto de tensiones aplicadas y comprobar dicho cálculo con el valor medido.

Por ejemplo, para el grupo de ensayos de la toma de 190 V, se calcularán los valores de pérdidas en el hierro a partir de la expresión siguiente, indicando el error cometido en el cálculo al compararlo con el valor obtenido a partir de las medidas.

$$P_{Fe \text{ ensayo } 190 \text{ V}} / 190^2 = P_{Fe \text{ calculadas } xxx \text{ V}} / xxx^2 \quad (19)$$

$$\text{Error } \varepsilon (\%) = 100 \cdot (P_{Fe \text{ calculadas } xxx \text{ V}} - P_{Fe \text{ ensayo } xxx \text{ V}}) / P_{Fe \text{ ensayo } xxx \text{ V}} \quad (20)$$

**Ensayos en Toma de 190 V:**

Tensión aplicada ensayo	$P_{Fe}$ ensayo (W)	$P_{Fe}$ calculada (W)	$\varepsilon$ (%)
Referencia 190 V		-	-
100 V			
150 V			
235 V			

**Tabla 8: Dependencia de las pérdidas en el hierro con la tensión aplicada (toma de 190 V)****Ensayos en Toma de 110 V:**

Tensión aplicada ensayo	$P_{Fe}$ ensayo (W)	$P_{Fe}$ calculada (W)	$\varepsilon$ (%)
Referencia 110 V		-	-
87 V			
136 V			

**Tabla 9: Dependencia de las pérdidas en el hierro con la tensión aplicada (toma de 110 V)**

Identificar y justificar los motivos en aquellos casos en los que el error es especialmente significativo.

### 3.2. Fenómenos de histéresis y saturación de un circuito magnético

Como parte final de la práctica se va a realizar un montaje que permita la representación gráfica de la curva B-H, comprobando los fenómenos de histéresis y saturación de un núcleo ferromagnético.

Para poder observar la curva B-H en el osciloscopio, se debe situar este en modo X-Y, llevando los valores del campo magnético (H) al eje X y los de la inducción magnética (B) al eje Y.

Dado que a un osciloscopio sólo se pueden llevar señales de tensión, se deben buscar tensiones que sean proporcionales a las magnitudes que se desea dibujar, de modo que permitan una representación equivalente.

En el caso del campo magnético, se utilizará su proporcionalidad con la corriente de vacío, tal y como se observó en la introducción teórica. La corriente de vacío se medirá mediante una sonda Hall que proporciona por su secundario una tensión proporcional a la intensidad que circula por el primario.

Para representar la inducción magnética, nos ayudaremos de su proporcionalidad con el flujo magnético.

Para realizar la medida del flujo magnético se tendrá en cuenta que para el transformador monofásico de la práctica, si se desprecian las resistencias de los arrollamientos y los flujos de dispersión, el flujo común en carga y en vacío son el mismo, y las tensiones primaria ( $u_1$ ) y secundaria ( $u_2$ ) están en fase entre sí y desfasadas  $90^\circ$  respecto al flujo ( $u_1 = N_1 \cdot d\phi/dt$ ;  $u_2 = N_2 \cdot d\phi/dt$ ).

Si se carga el arrollamiento secundario del transformador con una carga RC, la caída de tensión en el condensador estará retrasada  $90^\circ$  respecto a  $i_2$  y vendrá dada por la expresión:

$$u_c = (1/C) \cdot \int i_2 dt \quad (21)$$

Si adicionalmente se cumple que la carga en conjunto sea prácticamente resistiva ( $R \gg \gg 1/\omega C$ ), entonces la intensidad secundaria  $i_2$  estará en fase con  $u_2$ , lo que teniendo en cuenta que:

$$\phi = (1/N_2) \cdot \int u_2 dt \quad (22)$$

por comparación de las expresiones (21) y (22), nos lleva a deducir que la caída de tensión en el condensador estará en fase con el flujo y será por tanto una magnitud proporcional al mismo.

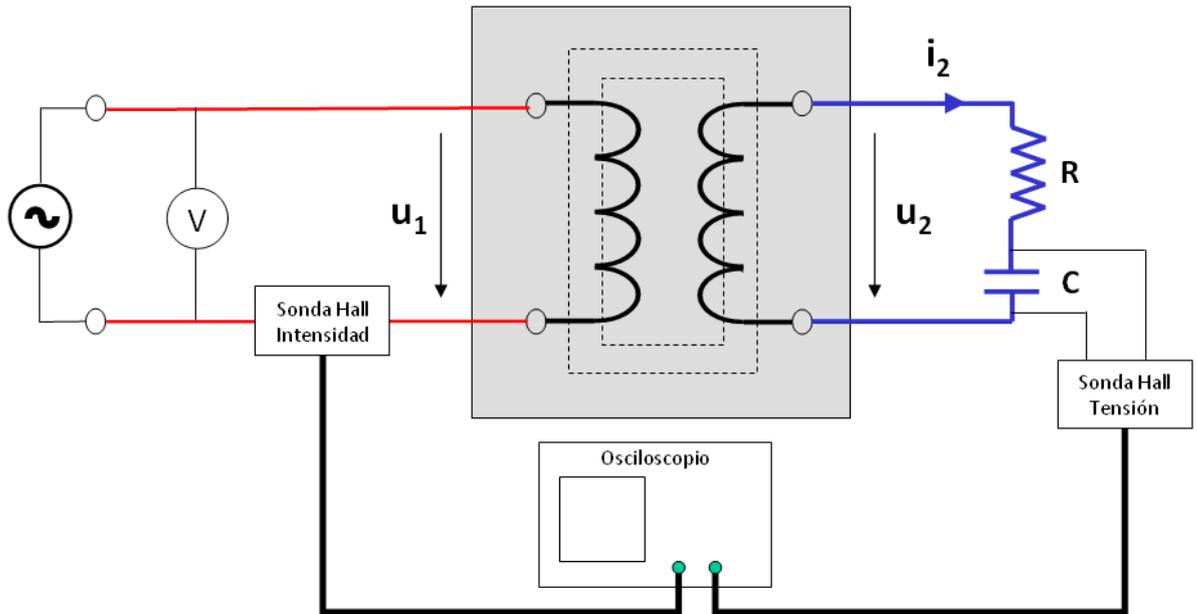
De cara a seguir cumpliendo con este montaje la proporcionalidad entre el campo magnético y la corriente de vacío, se debe garantizar que la corriente de la carga secundaria  $i_2$  sea prácticamente despreciable, lo que se conseguirá con una carga de impedancia muy elevada:

$$H \cdot l_{Fe} = N_1 \cdot i_1 - N_2 \cdot i_2 \approx N_1 \cdot i_1 = N_1 \cdot i_0 \quad (23)$$

El cumplimiento de las dos hipótesis realizadas ( $R \gg \gg 1/\omega C$ ;  $i_2$  despreciable frente a  $i_0$ ) se conseguirá en el montaje con una resistencia de 3000 ohmios y un condensador de 10 microfaradios.

Teniendo en cuenta lo indicado, a partir del montaje del circuito de la figura 4, se tratará de observar el ciclo de histéresis del circuito magnético y comprobar el fenómeno de saturación al aplicar tensiones crecientes en el lado primario.

Para ello, se conectará inicialmente la carga RC en la toma secundaria de 63 V y se aplicarán tensiones crecientes en el lado primario (en cada una de sus tomas) hasta observar la saturación del circuito magnético. Se repetirá el proceso conectando la carga RC en la toma secundaria de 220 V.



**Figura 4: Circuito a montar para la representación de la curva B-H**

Indicar en la tabla 10 la tensión aplicada a la bobina a partir de la cual se produce la saturación del circuito magnético (tanto en valor absoluto como en valor relativo respecto a la tensión asignada de la toma):

Toma conexión primaria	Carga conectada en toma secundaria 63 V		Carga conectada en toma secundaria 220 V	
	Tensión aplicada (V)	Tensión aplicada (%)	Tensión aplicada (V)	Tensión aplicada (%)
Toma 63 V				
Toma 110 V				
Toma 190 V				
Toma 220 V				

**Tabla 10: Observaciones sobre la curva de magnetización**

#### 4. TIEMPOS PREVISTOS PARA LA PRÁCTICA

A continuación se indican las duraciones previstas para cada una de las partes de la práctica:

Concepto	Duración prevista
Explicaciones iniciales del profesor	20 minutos
Montaje del circuito de la figura 3	15 minutos
Toma de medidas de la tabla 1	30 minutos
Montaje del circuito de la figura 4	10 minutos
Toma de medidas de la tabla 10	15 minutos

#### 5. EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

La evaluación de la práctica será realizada de acuerdo a los criterios indicados en el apartado 4.1 del documento "Aspectos generales de las prácticas de Circuitos Magnéticos y Transformadores", otorgando el siguiente peso a cada una de las partes:

Concepto	Peso en la evaluación
Examen laboratorio	30 %
Informe de la práctica	40 %
Examen teórico	30 %

En el informe de la práctica (que deberá ser entregado en el plazo de una semana a partir de la realización de la misma) el alumno realizará un análisis de las medidas realizadas y completará los cálculos solicitados en los ejercicios 1 a 6, analizando los resultados.

Adicionalmente, en aquellos casos en los que el alumno lo considere oportuno (ya sea porque le haya llamado la atención, porque las medidas parezcan erróneas, etc.), se podrán incluir en el informe de la práctica observaciones sobre las medidas o los cálculos efectuados. Un ejemplo al respecto podría ser analizar y justificar los resultados de la tabla 10 dependiendo de las distintas tomas primarias y las dos tomas secundarias utilizadas.

## HOJA DE RESULTADOS - PRÁCTICA 1

**FECHA:**

**PUESTO:**

### MEDIDAS DE LA BOBINA REAL DE NÚCLEO DE HIERRO:

Ensayo	Toma	$U_{ref}$ (V)	$U_{ef}$ ensayo (V)	$I_{ef}$ ensayo (A)	$I_{max}$ ensayo (A)	$P_{ensayo}$ (W)
1	190 V	50				
2	190 V	100				
3	190 V	150				
4	190 V	190				
5	190 V	235				
6	110 V	87				
7	110 V	110				
8	110 V	136				

### FENÓMENOS DE HISTÉRESIS Y SATURACIÓN:

Toma conexión primaria	Carga conectada en toma secundaria 63 V		Carga conectada en toma secundaria 220 V	
	Tensión aplicada (V)	Tensión aplicada (%)	Tensión aplicada (V)	Tensión aplicada (%)
Toma 63 V				
Toma 110 V				
Toma 190 V				
Toma 220 V				