

ESTUDIO DEL FENÓMENO ASOCIADO A LA CUANTIFICACIÓN DE LA REMANENCIA EN TRANSFORMADORES

ALEJANDRO CÁRDENAS ÁNGEL.
FABIO ANDRÉS MUÑOZ MUÑOZ.

DIRECTORES

Ing. Óscar Román Tudela Rangel M.Sc.

Ing. Guillermo Aponte Mayor M.Sc.

1

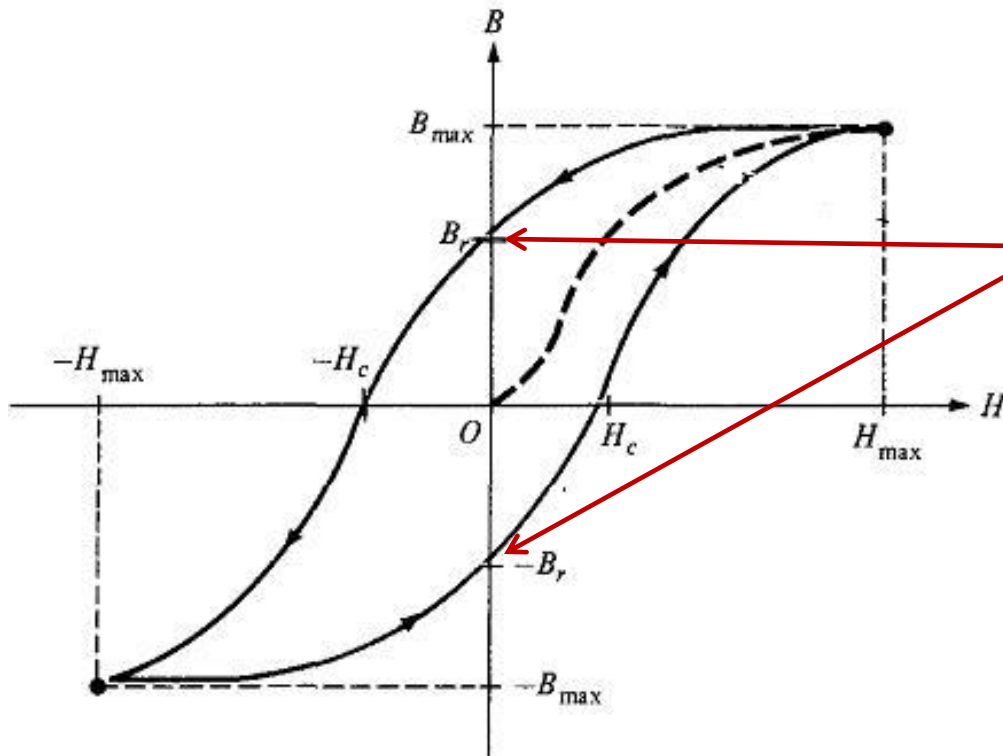


PLAN DE EXPOSICIÓN.

1. INTRODUCCIÓN.
2. JUSTIFICACIÓN
3. ANTECEDENTES
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
5. OBJETIVOS
6. MARCO TEÓRICO
7. RESULTADOS
8. CONCLUSIONES
9. TRABAJOS FUTUROS

INTRODUCCIÓN.

Los transformadores son contruidos con materiales ferromagnéticos, los cuales pueden tener densidad de flujo diferente de cero en ausencia del campo magnético exterior, este fenómeno es conocido como inducción residual.



JUSTIFICACIÓN

- ✓ Establecer los parámetros que influyen en el fenómeno de la remanencia en transformadores
- ✓ La Remanencia distorsiona la prueba de FRA en los transformadores lo cual puede llevar a interpretaciones erróneas.
- ✓ La Remanencia afecta a la corriente Inrush de los transformadores.



ANTECEDENTES

- ✓ En la Universidad del Valle **NO** existen estudios que permitan conocer los parámetros que influyen en el fenómeno de la Remanencia en los transformadores.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Qué es la remanencia y/o la densidad de flujo residual?

¿De qué factores depende la remanencia en los transformadores?

¿Es posible eliminar la Remanencia?

¿Cómo medir la Remanencia?



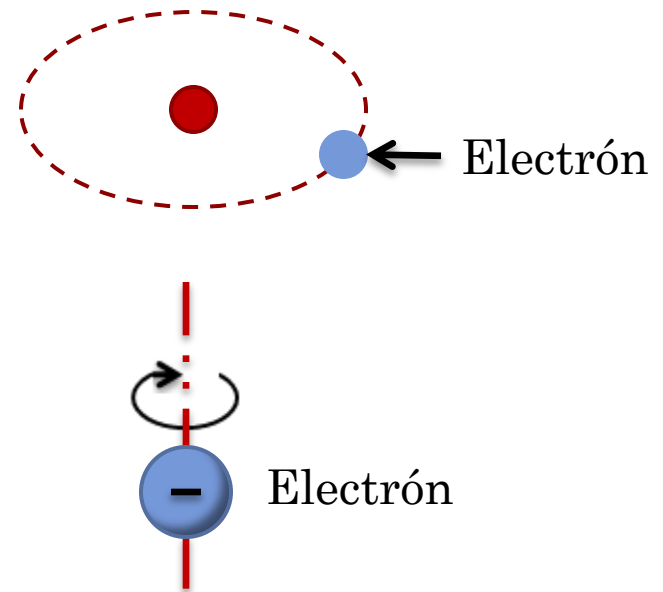
OBJETIVOS

El objetivo de un estudio estadístico es determinar los valores de las variables de una muestra y, a partir de ellas, inferir los valores de la población. Este objetivo se logra mediante la aplicación de los métodos estadísticos, que permiten transformar los datos en información útil para la toma de decisiones. Los objetivos de un estudio estadístico pueden ser de diferentes tipos, como el de describir la población, el de explicar las causas de un fenómeno, el de predecir el futuro, el de evaluar la efectividad de un tratamiento, etc. En este sentido, los objetivos de un estudio estadístico deben ser claros, precisos y medibles.



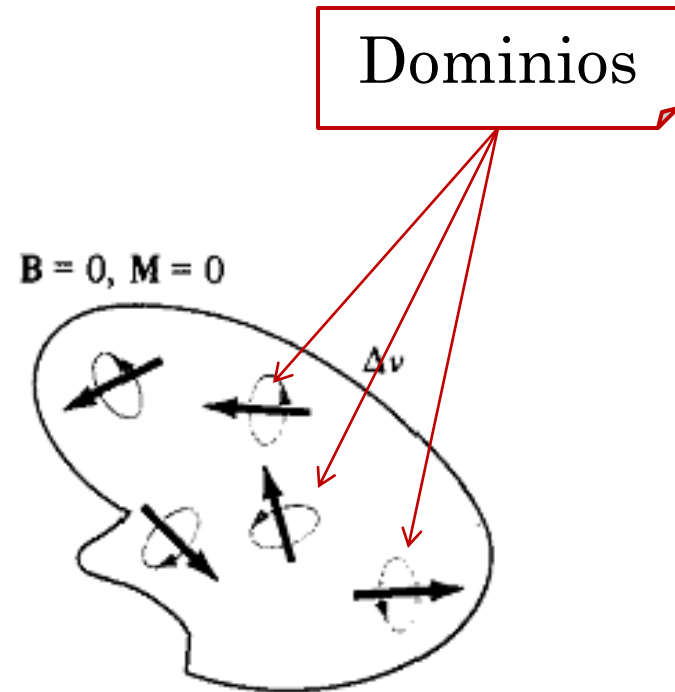
MARCO TEÓRICO

En los materiales ferromagnéticos cada átomo tiene un momento dipolar relativamente grande, causado principalmente por los momentos de espín del electrón no equilibrados



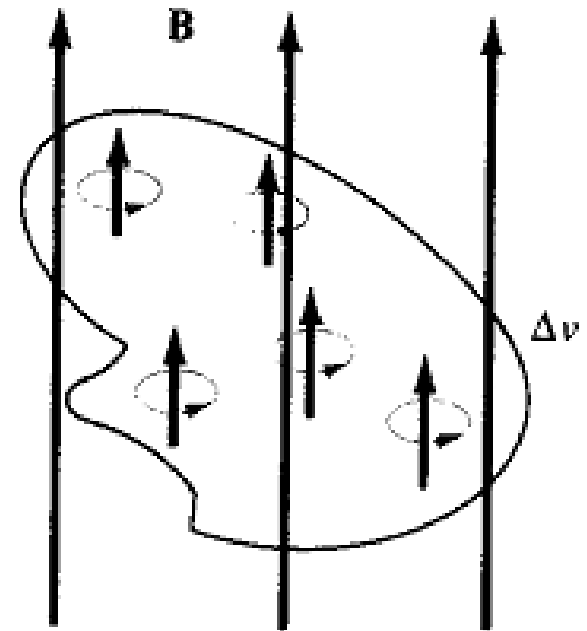
MARCO TEÓRICO

El ferromagnetismo se debe a la formación de unas estructuras cristalinas en las cuales, dentro de los límites de las regiones macroscópicas llamadas *dominios magnéticos*, los espines electrónicos resultan estar orientados paralelamente unos y otros y en la misma dirección.



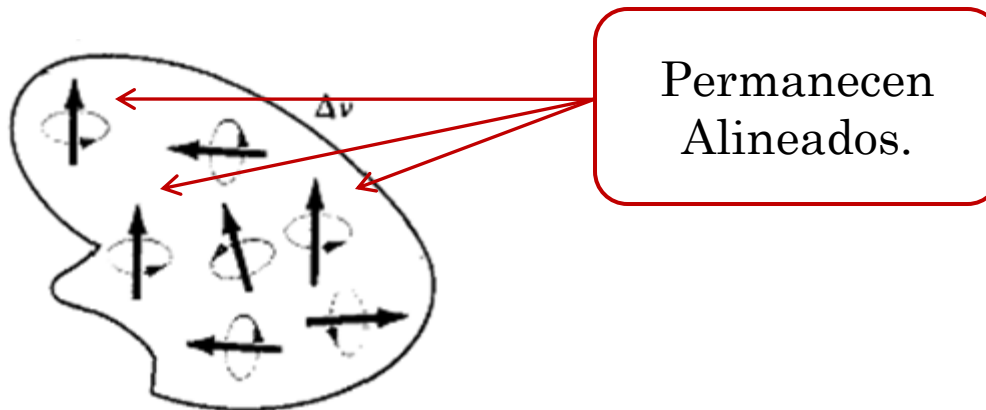
MARCO TEÓRICO

Con la aplicación de un campo magnético externo, aquellos dominios, que tienen momentos en dirección del campo aplicado, aumentan su tamaño a expensas de sus vecinos; el campo magnético interno aumenta grandemente por encima del campo magnético externo.



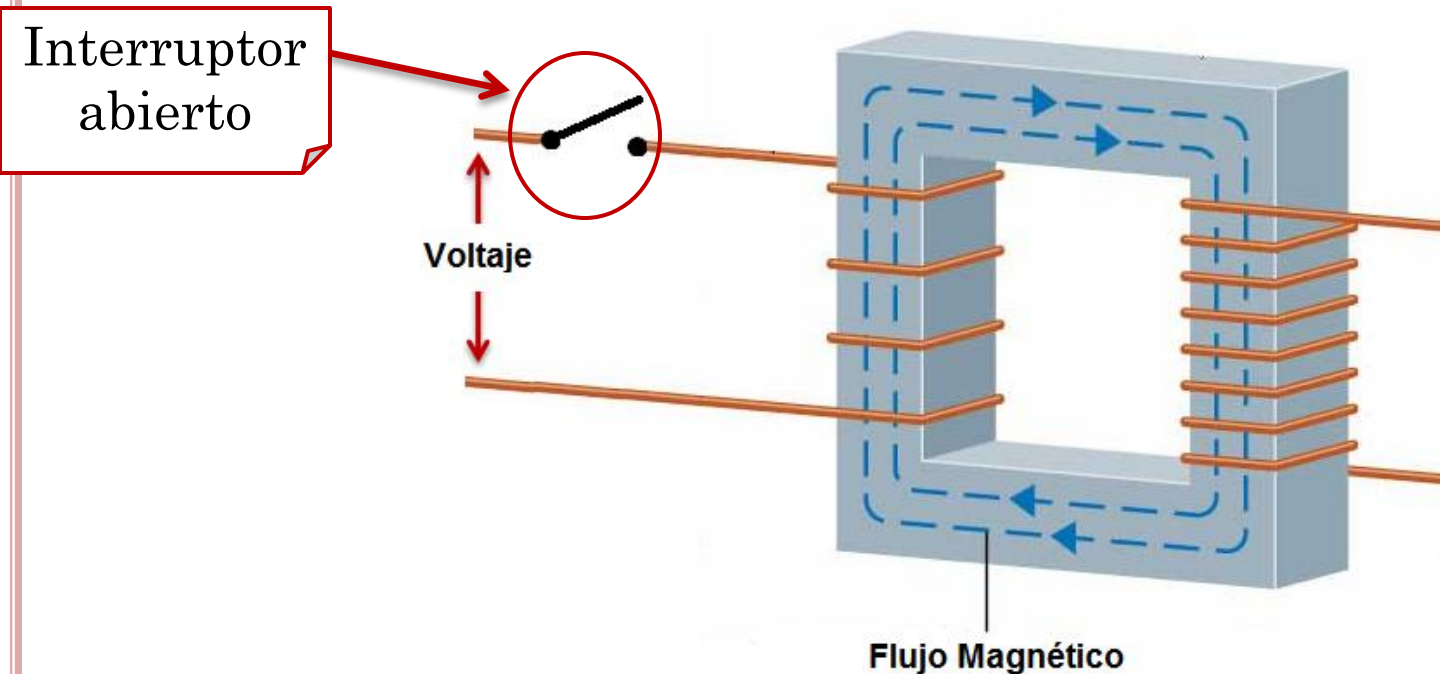
MARCO TEÓRICO

Cuando se retira el campo externo, no se produce un alineamiento caótico de los dominios, en general, y un residuo, o remanente de campo bipolar, permanece en la estructura macroscópica.



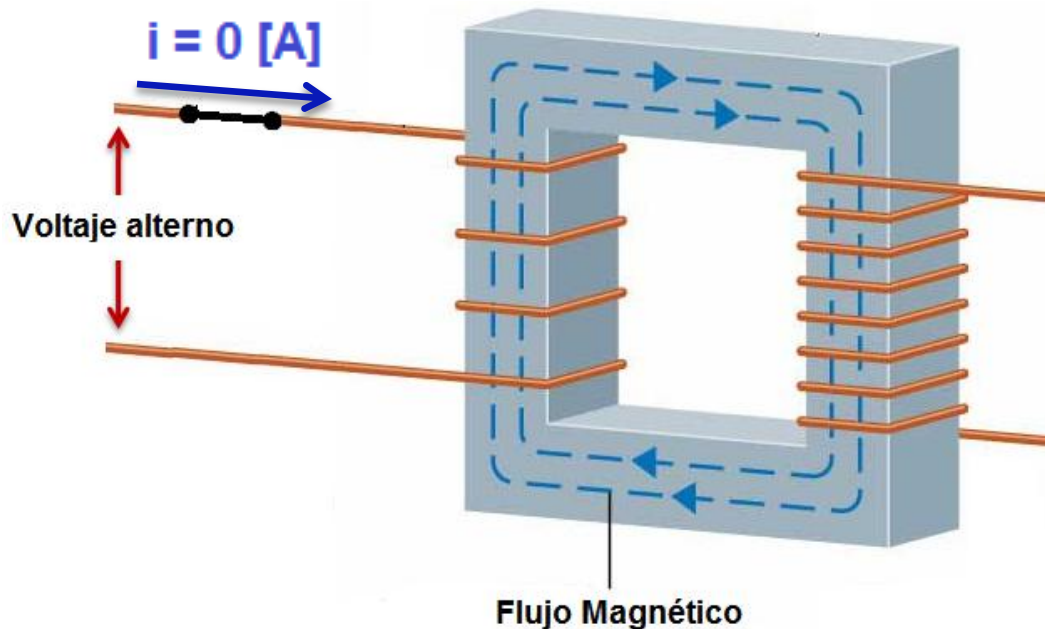
RESULTADOS

Remanencia: Es la densidad de flujo que permanece en un material magnético después de haber suprimido a la fuerza de magnetización externa



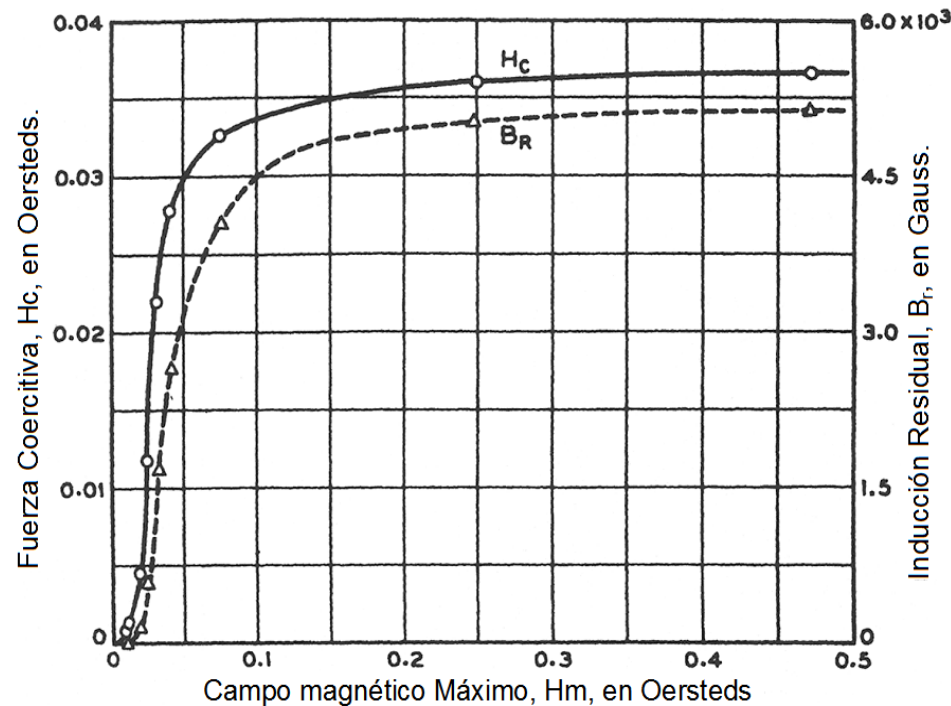
RESULTADOS

Densidad de flujo residual o inducción residual: En un material magnético, es el valor de la densidad de flujo correspondiente a la intensidad magnética cero, cuando el material es simétrica y cíclicamente magnetizado.



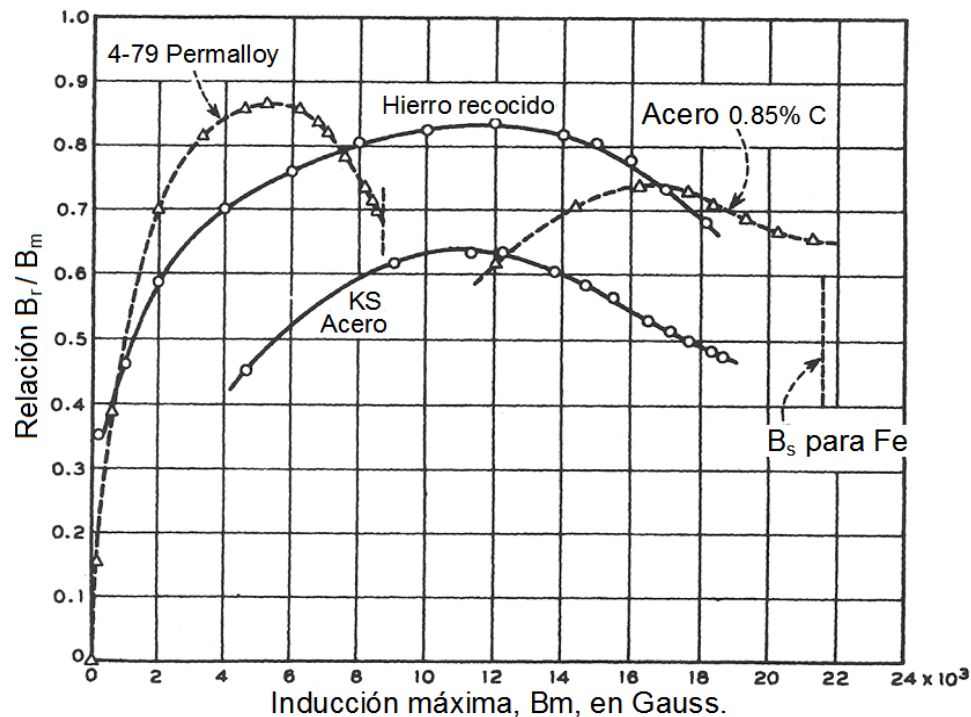
RESULTADOS

La curva de Inducción Residual (B_r) *vs* el Campo Magnético Máximo Aplicado (H_m) de un material ferromagnetico se asemeja en cierto grado su curva de magnetización.



RESULTADOS

Aunque B_r aumenta continuamente con el aumento en H_m , la relación B_r / B_m pasa por un máximo y luego desciende a su valor límite para grandes valores de H_m .



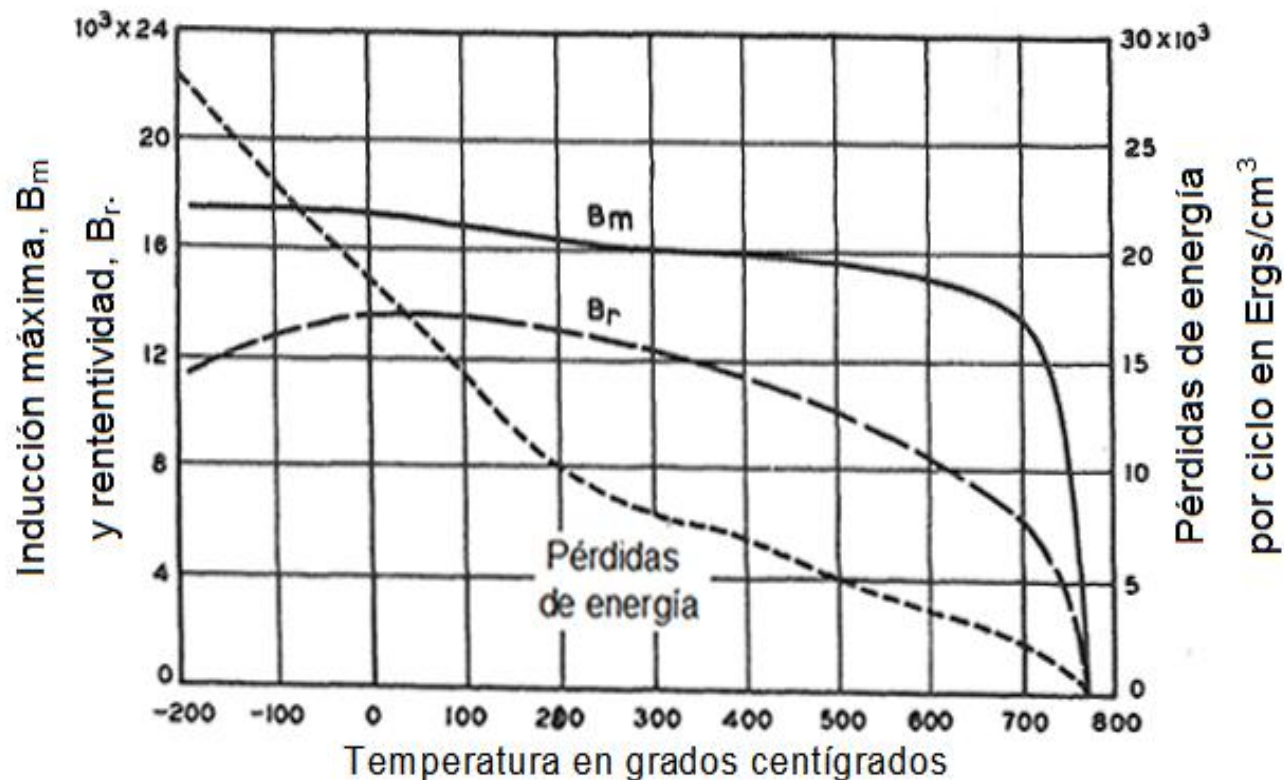
RESULTADOS

Material	Tratamiento	B_r [Gauss]	B_s [Gauss]	B_r/B_s
Hierro	Estirado en frío.	8000 – 11000	21600	0.4 – 0.5
	Recocido.	6000 – 14000	21600	0.3 – 0.7
Níquel	Estirado en frío.	2900 – 3900	6100	0.5 – 0.65
	Recocido.	2000 – 4000	6100	0.3 – 0.65
Hierro al silicio 4%	Laminado en frío.	14000	20200	0.7
	Recocido.	6000-8000	19800	0.3 – 0.4
Permalloy	Laminado en frío.	7000	16000	0.45
	Recocido.	7500 – 9500	16000	0.45 – 0.6
Hierro al silicio 3%	Grano Orientado	15600	17000	0.917



RESULTADOS

Como era de esperar la inducción residual disminuye con el aumento en la temperatura.



RESULTADOS

Efecto del Envejecimiento:

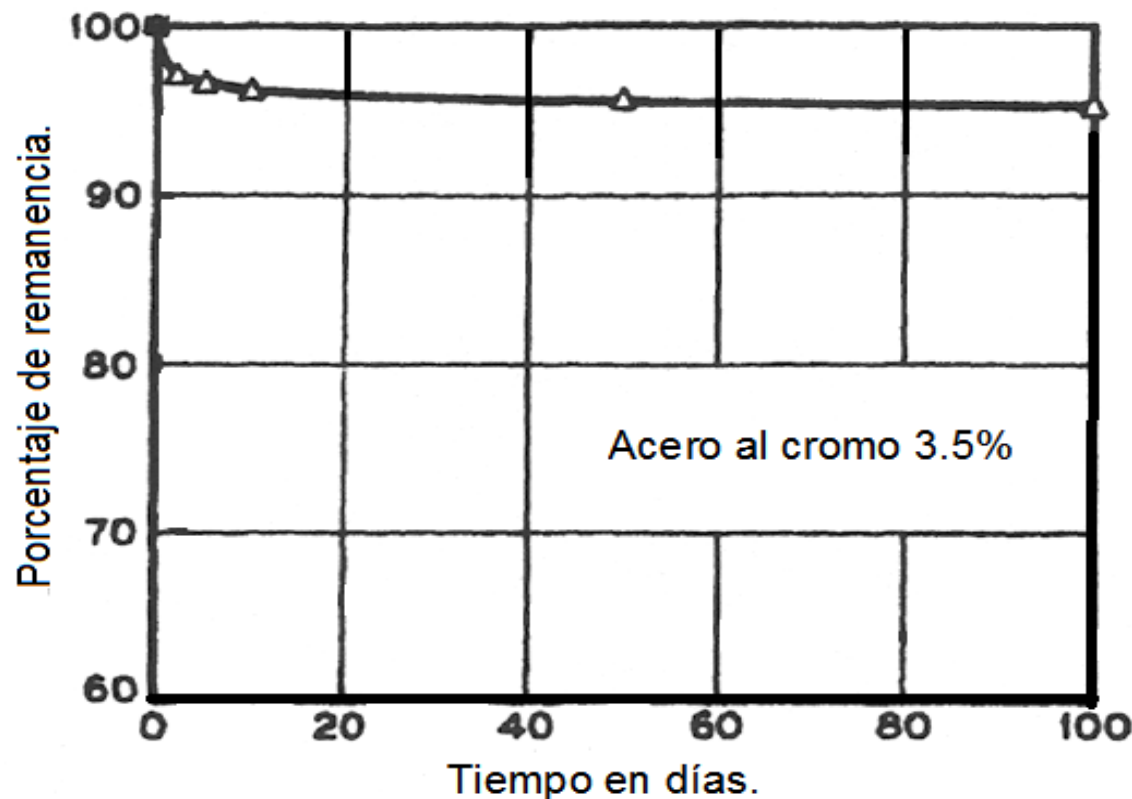
En cualquier aleación de acero comercial puede ocurrir un envejecimiento perceptible si existe una cierta proporción de impurezas.

Las aleaciones con un contenido de silicio mayor o igual a 1.05% se les puede considerar sin envejecimiento.



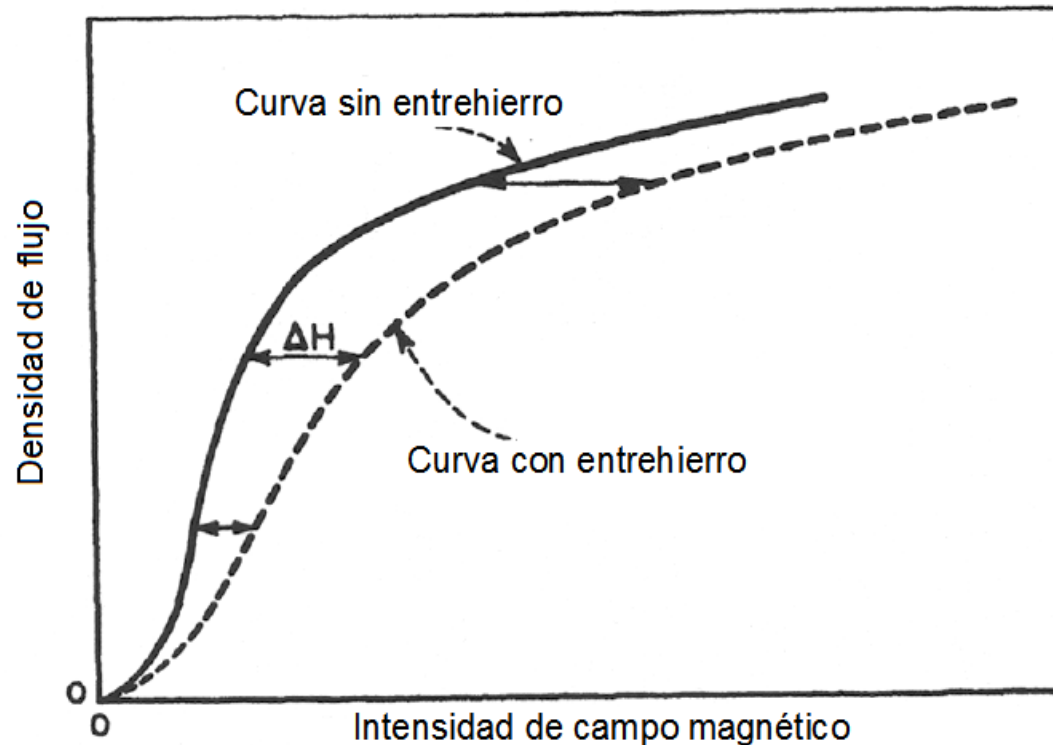
RESULTADOS

La Remanencia sufre cierto de grado de disminución con el envejecimiento del material.



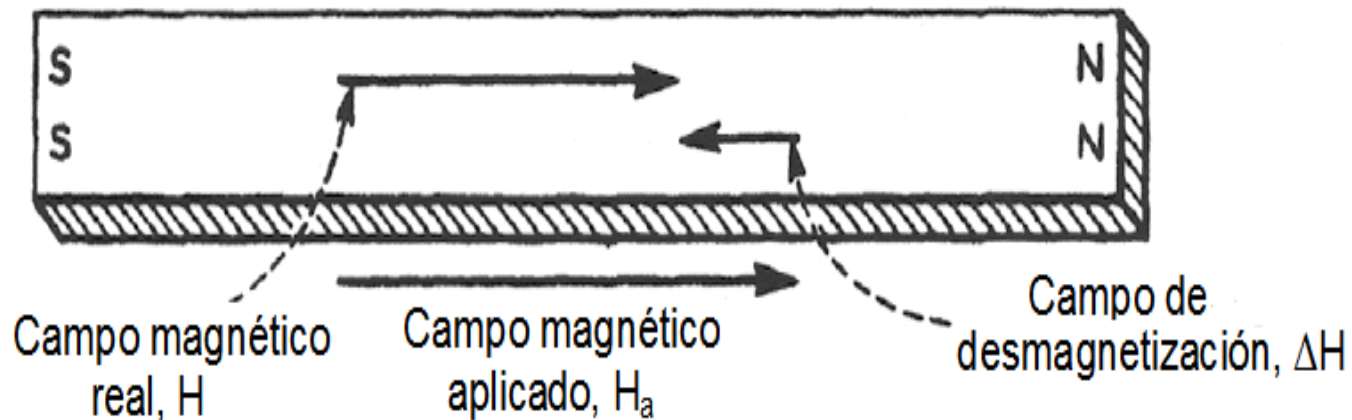
RESULTADOS

Cuando un circuito ferromagnético contiene un entrehierro no magnético se produce un cambio en la curva de magnetización.



RESULTADOS

En la siguiente figura, se pueden apreciar los vectores de intensidad de campo en el interior de un circuito ferromagnético con presencia de entrehierro.



RESULTADOS

Prueba de Laboratorio

Esta prueba se realizó conjuntamente en el laboratorio de Máquinas Eléctricas y de Alta Tensión de la Universidad del Valle con el objetivo de obtener la curva de histéresis de un transformador trifásico de 75kVA de marca Suntec por medio de un Gaussímetro F.W, Bell 5170 con sonda transversal y una fuente de C.C.



RESULTADOS

Equipos utilizados:

- ❑ Máquina de DC.
- ❑ Voltímetro
- ❑ Amperímetro
- ❑ Gaussímetro F.W. BELL 5170
- ❑ Autotransformador
- ❑ Transformador Suntec trifásico de 75kVA



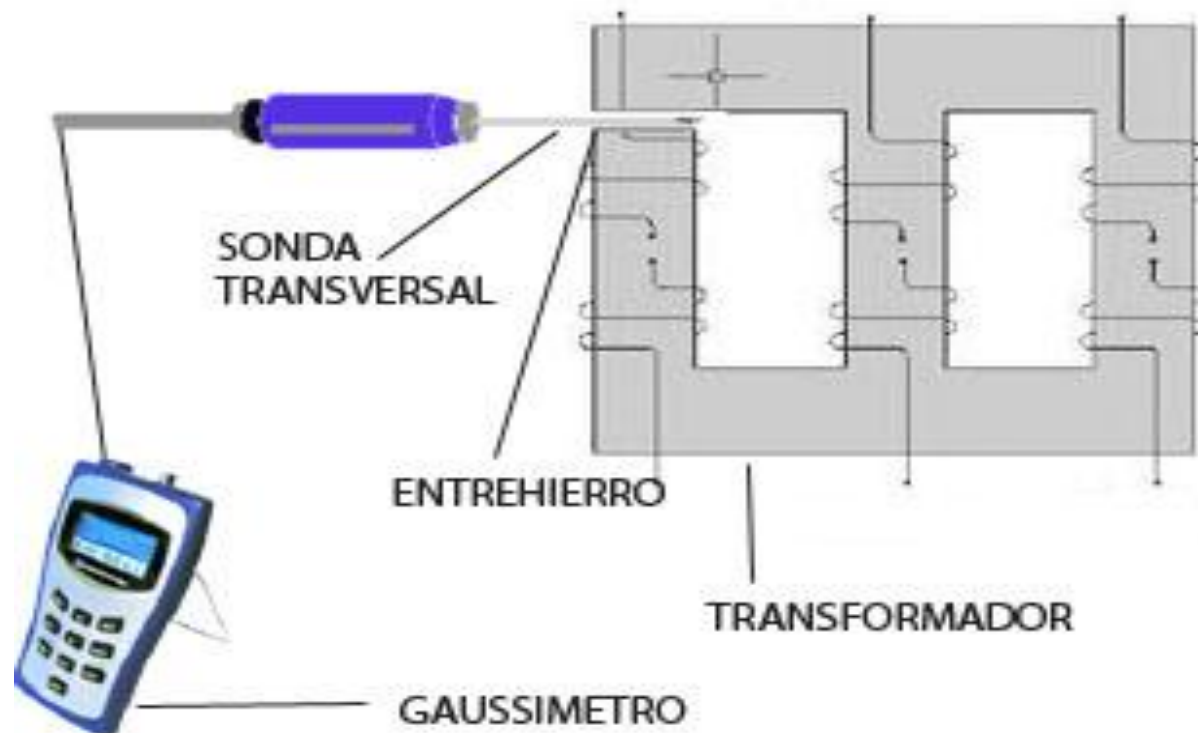
RESULTADOS

Procedimiento utilizado para la medición de la Densidad de flujo y la Remanencia en el transformador con el Gaussímetro F.W. BELL 5170:

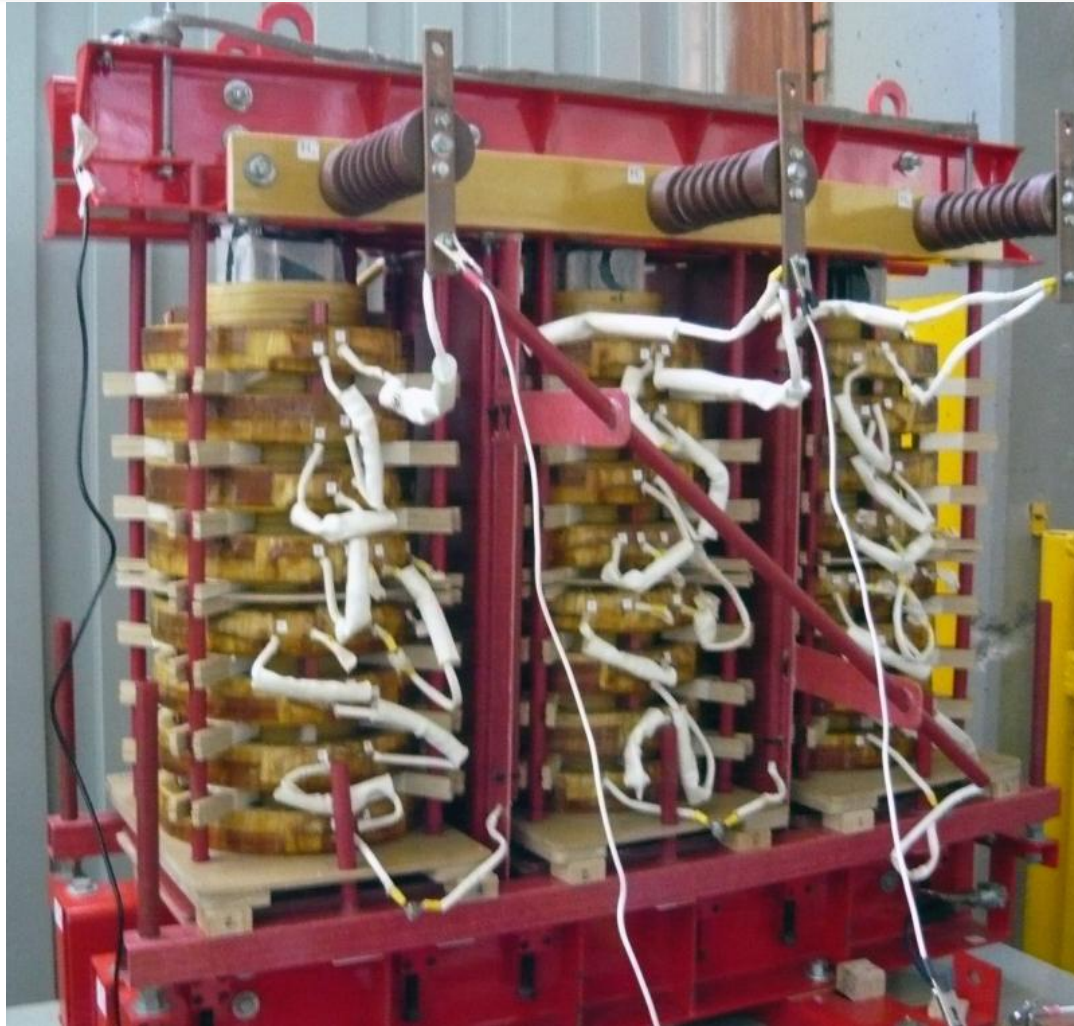
1. Se abre un entrehierro perpendicular al flujo magnético en el núcleo del transformador.
2. Se ubica en el entrehierro la sonda transversal del Gaussímetro de manera tal que el flujo magnético sea transversal a esta.



RESULTADOS



RESULTADOS



RESULTADOS



RESULTADOS



RESULTADOS

La primera parte de la práctica consistió en desmagnetizar el transformador con el método de desmagnetización cíclica.

VOLTAJE rms(V)	DENSIDAD DE FLUJO B rms (kG)
220	2.2
110	1.09
53.3	0.528
26	0.26
0	0.001*



RESULTADOS

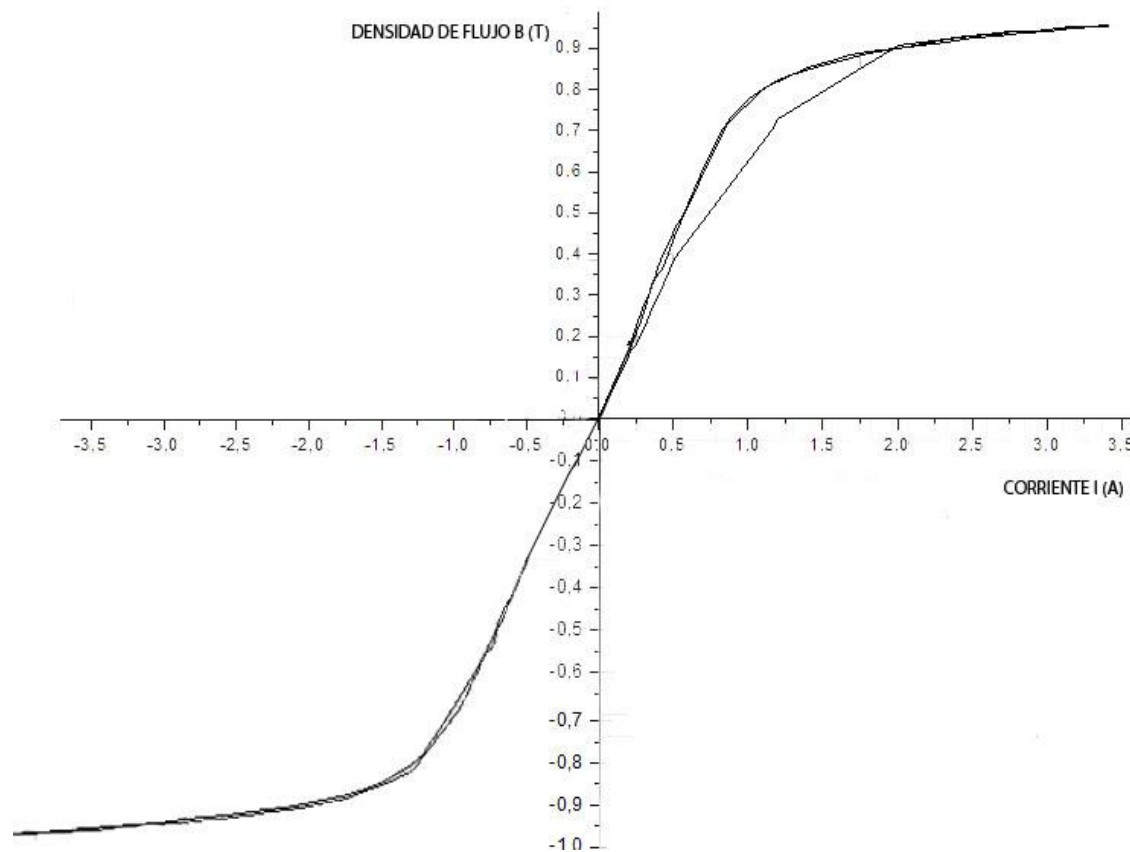
Procedimiento para obtener la curva de histéresis:

1. En cada escalón de corriente medir la densidad de flujo.
2. Con una fuente de DC energizar la bobina de alta tensión y con ella comenzar a elevar la corriente en pequeños escalones hasta saturar el núcleo.
3. En el punto de máxima corriente se procede a retroceder, es decir, se comienza a disminuir el voltaje aplicado hasta que la corriente sea cero
4. Ahí invertir la fuente y paulatinamente aumentar la corriente en pequeños escalones hasta saturar el núcleo
5. Repetir el ítem 3



RESULTADOS

La curva de histéresis obtenida se presenta a continuación.



RESULTADOS

Remanencia [mT]
15.53

Como se observa en la tabla el valor de Remanencia obtenido en la prueba es muy bajo, esto es debido a la presencia del entrehierro.



CONCLUSIONES

❑ **Los factores que determinan Br en los transformadores son:**

- Tensión.
- Punto de desconexión.
- Frecuencia.
- Material del núcleo.
- Grano orientado o NO orientado
- Porcentaje de silicio.
- Contenido de impurezas
- Temperatura



CONCLUSIONES

- ❑ No se pudo determinar si la forma del núcleo afecta a Br.
- ❑ Para efectos prácticos y de acuerdo a la literatura se puede considerar que la remanencia en un transformador no se ve disminuida debido al envejecimiento del material ferromagnético.
- ❑ Las estructuras ferromagnéticas con entrehierros de aire presentan niveles de remanencia menores que las estructuras ferromagnéticas sin entrehierro.
- ❑ Se comprobó en el laboratorio que la desmagnetización cíclica sí reduce la remanencia a valores muy cercanos a cero.



CONCLUSIONES

- ❑ La forma más adecuada para medir la Remanencia en los transformadores es con la utilización de un medidor de Densidad de Flujo o de Flujo que NO requiera la presencia de un entrehierro.



TRABAJO FUTURO

- Realizar mediciones de densidades de flujo en los transformadores con un medidor de densidad de flujo como el MF300B de la empresa Diverse el cual permite realizar mediciones de densidad de flujo en transformadores sin necesidad tener la presencia de un entrehierro.
- Con la medición de los niveles reales de densidad de flujo presente en los transformadores determinar los parámetros reales del circuito eléctrico equivalente del transformador.



TRABAJO FUTURO

- Parametrizar la corriente inrush de los transformadores teniendo en cuenta los niveles de remanencia que se pueden presentar en estos. Lo cual permitirá realizar una mejor configuración de las protecciones de este.
- Investigar los niveles de remanencia que se presentan en las máquinas eléctricas rotativas.
- Adelantar estudios sobre las pérdidas por histéresis en transformadores.



MUCHAS GRACIAS