



---

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PARA EL TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA**

**TÍTULO:**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DESMAGNETIZAR  
ZÓCALOS UTILIZADOS PARA LA PROTECCIÓN DEL SENSOR MAGNÉTICO  
DE CORRIENTE DRV421 DURANTE EL PROCESO DE TESTEO EN  
PRODUCCIÓN.**

**Autor:**

**CESAR OMAR CORDERO BAUTISTA**

**Director:**

**PH.D. IVALDO TORRES CHÁVEZ**

**PAMPLONA-COLOMBIA**

**JUNIO 04 DE 2015**



---

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA EN  
ELECTRÓNICA**

**TÍTULO:**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DESMAGNETIZAR  
ZÓCALOS UTILIZADOS PARA LA PROTECCIÓN DEL SENSOR MAGNÉTICO  
DE CORRIENTE DRV421 DURANTE EL PROCESO DE TESTEO EN  
PRODUCCIÓN.**

**Autor:**

**CESAR OMAR CORDERO BAUTISTA**

**Director:**

**PH.D. IVALDO TORRES CHÁVEZ**

**JURADO CALIFICADOR:**

**PH.D. OSCAR EDUARDO GUALDRÓN GERRERO**

**PH.D. IVALDO TORRES CHÁVEZ**

**M.Sc BLANCA JUDITH CRISTANCHO PABÓN**

**PAMPLONA-COLOMBIA**

**JUNIO 2015**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR ÉL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA**

**TEMA:**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DESMAGNETIZAR  
ZÓCALOS UTILIZADOS PARA LA PROTECCIÓN DEL SENSOR MAGNÉTICO  
DE CORRIENTE DRV421 DURANTE EL PROCESO DE TESTEO EN  
PRODUCCIÓN.**

**FECHA DE INCIO DEL TRABAJO: MARZO 2014**

**FECHA DE TERMINACION DEL TRABAJO: JUNIO 2014**

**NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA LA SUSTENTACION:**

---

**CESAR OMAR CORDERO BAUTISTA  
AUTOR**

---

**PH.D. IVALDO TORRES CHÁVEZ  
DIRECTOR**

---

**M.S BLANCA JUDITH CRISTANCHO  
DIRECTOR DEL PROGRAMA**

**JURADO CALIFICADOR:**

---

**PH.D. OSCAR EDUARDO GUALDRÓN GERRERO**

---

**PH.D. IVALDO TORRES CHÁVEZ**

---

**M.Sc BLANCA JUDITH CRISTANCHO PABÓN  
PAMPLONA N. S. COLOMBIA  
JUNIO 2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres Guillermo y Omaira por su apoyo incondicional y por brindarme la oportunidad de salir adelante y de ser mejor persona, por sus enseñanzas y todo el cariño que me han brindado, a mi hermana Eliana y mis hermanos Andrés y Memo por su comprensión y apoyo en todas las situaciones también por estar conmigo en las buenas y en las malas, a mi familia que siempre ha confiado en mí, por ellos que han sido la luz en mi camino y me han ayudado a salir adelante.

# **AGRADECIMIENTOS**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

**Pág.**

1. CAPÍTULO .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3 DELIMITACIÓN.....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
1.3.3 Acotaciones .....	3
1.4 ANTECEDENTES .....	3
1.4.1 Calentamiento .....	3
1.4.2 Martillero .....	3
1.4.3 Campo de corriente alterna(CA).....	3
1.4.4 Herramientas magnetizadoras y desmagnetizadoras .....	4
1.4.5 Desmagnetización de los cabezales de cinta.....	4
2. CAPÍTULO MARCO TEORICO.....	5
2.1 MATERIALES FERROMAGNETICOS.....	6
2.1.1 Momento dipolar magnético.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.1.2 Dominios magnéticos .....	9
2.1.3 Características de los materiales ferromagnético.....	9
2.1.4 Propiedades de los materiales ferromagnético.....	10
2.2 PERMEABILIDAD MAGNETICA .....	10
2.2.1 Permeabilidad magnética de vacío .....	11
2.2.2 Permeabilidad magnética de una sustancia.....	12
2.2.3 Susceptibilidad magnética .....	13

2.2.4	Permeabilidad magnética de algunos materiales .....	14
2.3	IMANTACIÓN O MAGNETIZACIÓN .....	14
2.3.1	Campo magnético .....	16
2.3.2	Métodos de magnetización .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.3.3	Inducción Directa.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.3.4	Inducción Indirecta .....	20
2.4	DESMAGNETIZACIÓN .....	22
2.4.1	Estructura subatómica.....	23
2.4.2	Otros métodos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.4.3	La temperatura de Curie .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.5	CICLO DE HISTÉRESIS .....	30
2.5.1	Curva de magnetización.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.5.2	Ciclo de histéresis .....	23
2.5.3	clasificación de la histéresis.....	23
2.5.4	Pérdidas por histéresis magnética .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.6	MU METAL.....	22
2.6.1	La protección magnética.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.7	TEMPERATURA DE CURIE .....	32
2.7.1	Efectos de la temperatura de curie .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.8	EL USO DE UN CAMPO DE CA (CORRIENTE ALTERNA) .....	33
2.9	CORRIENTES DE FOUCAULT.....	36
2.9.1	Efecto Joule.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.9.2	Causas del fenómeno .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.10	SOFTWARE .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.10.1	ExpressPCB .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.10.2	Finite Element Method Magnetics (FEMM) ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.10.3	LabVIEW.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.	CAPÍTULO.....	35

3.1	.....	44
3.2	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2.1	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2.2	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2.3	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2.4	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.3	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.3.1	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4.1	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4.2	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.5	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4. CAPÍTULO	.....	45
4.1	.....	46
4.2	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5. CAPÍTULO	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1 RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL ALGORITMO	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
5.2 VALIDACIÓN DEL ALGORITMO EN LA INTERFAZ	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
ANÁLISIS ECONÓMICO	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANÁLISIS ADMINISTRATIVO	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
MARCO LEGAL	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
PROTECCIÓN E HIGIENE DEL TRABAJO	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
INFLUENCIA AMBIENTAL DEL TRABAJO	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
CONCLUSIONES	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

RECOMENDACIONES ..... **¡Error! Marcador no definido.**

BIBLIOGRAFÍA ..... 89

ANEXOS ..... 94

ANEXO 1. ELEMENTOS COMPUTACIONALES ..... 94

    OpenCV ..... **¡Error! Marcador no definido.**

    Matlab ..... **¡Error! Marcador no definido.**

    Compilador: Microsoft Visual Studio..... **¡Error! Marcador no definido.**

ANEXO 2. ARTÍCULO ..... **¡Error! Marcador no definido.**

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Permeabilidad de algunos materiales .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 2 Propiedades de la mu metal .....	31
Tabla 3 Diferencias entre bobina circular y una bobina solenoide .....	53
Tabla 4 Características del solenoide .....	54
Tabla 5 Parámetros principales y costos del diseño .....	54
Tabla 6 Mediciones usando el sensor AMS_AS5410 .....	59
Tabla 7 Mediciones usando el sensor AMS_AS5410 con gama más alta	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 8 mediciones usando el sensor DRV425 .....	61
Tabla 9 Mediciones .....	62
Tabla 10 Mediciones a 4.3cm .....	65
Tabla 11 Mediciones con el sensor DRV425 rotando el escudo .....	66
Tabla 12 Mediciones con el sensor DRV425 .....	67
Tabla 13 Campo magnetico a 60A .....	70
Tabla 14 Mediciones con el sensor DRV425 rotando el escudo .....	71
Tabla 15 Mediciones de la muestra expuesta hasta llegar a 2T .....	72
Tabla 16 Señales de campo magnéticos alternos con lab tracer .....	77
Tabla 17 Canal de campo magnético alterno con lab trace .....	80
Tabla 18 Mediciones con el sensor de efecto hall a la muestra mu metal .....	95
Tabla 19 Mediciones correspondientes a la figura 38 .....	95
Tabla 20 Conversión de los valores de la tabla 19 a valores de campo magnético .....	96
Tabla 21 Diseño de bobina circular .....	96
Tabla 22 Costo del diseño de bobina circular .....	97
Tabla 23 Mediciones correspondientes a la figura 63 .....	97
Tabla 24 Mediciones con el DRV421 .....	98
Tabla 25 Mediciones correspondientes a la figura 74 .....	98
Tabla 26 Mediciones del Chip C .....	99
Tabla 27 Mediciones del Chip A .....	99
Tabla 28 Mediciones del Chip B .....	100
Tabla 29 Mediciones del Chip D .....	100
Tabla 30 Mediciones del Chip E .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 31 Mediciones del Chip F .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 32 Mediciones antes de aplicar los 10mT .....	102
Tabla 33 Mediciones después de aplicar los 10mT .....	102

Tabla 34 Promedio de campo magnético .....	102
Tabla 35 Mediciones de ATE .....	103
Tabla 36 Correlación.....	103
Tabla 37 Medición con campo magnético de 5.5V, 3.6V Y 3V.....	103
Tabla 38 Promedio de campo magnético de la tabla 38.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 VTMD Magnetizador /Desmagnetizador .....	4
Figura 2 Dominios magnéticos aleatorios.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 3 Dominios magnéticos con campo externo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 4 Orientación de campo dentro del material.....	7
Figura 5 Campo magnético remanente .....	8
Figura 6 Momento dipolar magnético.....	9
Figura 7 Permeabilidad de sustancias .....	10
Figura 8 Permeabilidad del vacío.....	11
Figura 9 Permeabilidad relativa .....	12
Figura 10 Susceptibilidad magnética contra temperatura.....	13
Figura 11 Curva de imanación o magnetización.....	15
Figura 12 Flujo magnético .....	16
Figura 13 campo magnético .....	17
Figura 14 Formas de magnetizar.....	18
Figura 15 Punta de contacto.....	19
Figura 16 Entre cabezales .....	20
Figura 17 Inducción indirecta .....	21
Figura 18 Curva de magnetización .....	24
Figura 19 Ciclo de histéresis fig_1.....	25
Figura 20 Ciclo de histéresis fig_2.....	26
Figura 21 Ciclo de histéresis fig_3.....	26

Figura 22 Ciclo de histéresis fig_4.....	27
Figura 23 Ciclo de histéresis fig_5.....	27
Figura 24 Ciclo de histéresis fig_6.....	28
Figura 25 Curva de histéresis de un material magnético duro .....	29
Figura 26 Curva de histéresis de un material magnético blando .....	29
Figura 27 Pérdidas en materiales blandos (izquierda) y duros (derecha) .....	30
Figura 28 Temperatura de curie .....	32
Figura 29 Efecto de la Temperatura y Ms de un material ferromagnético .....	33
Figura 30 Sistema alterno de corriente.....	34
Figura 31 Diagrama del bloque de método de inducción magnético.....	39
Figura 32 Diagrama de bloque del método de onda magnética variable .....	42
Figura 33 Circuito de voltaje de convertidor a corriente .....	43
Figura 34 Formas de onda en circuito de desmagnetización .....	44
Figura 35 Diagrama de bloques desmagnetización de mu-metal IC socket .....	46
Figura 36 Sensor DRV425.....	48
Figura 37 Montaje de muestra aplicando 10 mT .....	50
Figura 38 Resultado después de aplicar 10mT .....	50
Figura 39 Cálculos para la bobina del socket.....	51
Figura 40 Diseño de la bobina 1 en FEM simulator .....	55
Figura 41 Diseño de la bobina 2 en FEM simulator .....	56
Figura 42 Dispositivo principal empleado (electroimán).....	57
Figura 43 Montaje para aplicar 300 mT a la mu-metal.....	58
Figura 44 Montaje para aplicar 300 mT conexión de fuente .....	59
Figura 45 Posición del Sensor DRV425 .....	61
Figura 46 Configuración de montaje con la muestra de mu metal .....	61
Figura 47 Fuente capaz de generar 60 A Y 125 V.....	62
Figura 48 Electroimán en FSU.....	63
Figura 49 Geometría del electroimán en FSU.....	63
Figura 50 Circuito magnético del electroimán.....	64
Figura 51 Magnetómetro Koshava 5.....	64
Figura 52 Configuración a una distancia de 4.3 cm en FSU.....	65
Figura 53 Configuración de medición que cubre el DVR425.....	66
Figura 54 Configuración con la cara abierta de la mu metal .....	67
Figura 55 Configuración a una distancia de 0.5 mm .....	68
Figura 56 Fuente de alimentacion y circuito breakers .....	69
Figura 57 Configuración a una distancia de 4.3 cm en EAH.....	70
Figura 58 Configuración a una distancia de 4.3 cm.....	70
Figura 59 Sensor DRV425 a 1.2 m paralelo al suelo.....	71
Figura 60 Toma de datos de la muestra .....	72

Figura 61 Campo magnético medido antes y después de blindaje vs aplicado .....	73
Figura 62 Campo magnético en el zócalo HTOL .....	74
Figura 63 Campo magnético del sockets.....	75
Figura 64 Montaje del circuito con el zócalo HTOL en una bobina de helmholtz.....	75
Figura 65 Control de corriente en la bobina de helmholtz.....	76
Figura 66 Curva de barrido señal 5 .....	78
Figura 67 Curva de barrido señal 7 .....	78
Figura 68 Curva de barrido señal 8.....	79
Figura 69 Lista de barrido de campo magnético alterno.....	79
Figura 70 Obtención del campo magnético alterno .....	80
Figura 71 Campo magnético HTOL socket vs el tiempo.....	81
Figura 72 Proceso y resultado del montaje del HTOL socket .....	81
Figura 73 Campo magnético HTOL socket en el tiempo .....	82
Figura 74 Campo magnético HTOL socket en el tiempo .....	82
Figura 75 Montaje del circuito de micro close loop en la daughterboard.....	83
Figura 76 Campo magnético en la mu-metal antes y después de aplicar 10 mT .....	84
Figura 77 Correlación de mediciones del campo magnético a 5.5V.....	84
Figura 78 Correlación de mediciones del campo magnético a 3.6V.....	85
Figura 79 Correlación de mediciones del campo magnético a 3 V.....	85

## **RESUMEN**

**Título:** Diseño y desarrollo de un método para desmagnetizar zócalos utilizados para la protección del sensor magnético de corriente DRV421 durante el proceso de testeo en producción.

**Autor:** Cesar Omar Cordero Bautista

**Programa:** Ingeniería electrónica

**Director:** PH.D. IVALDO TORRES CHÁVEZ

En el presente proyecto se implementa una forma para desmagnetizar los zócalos utilizados en proceso de testeo a la hora de probar los sensores magnéticos de corriente DRV421 los cuales se utilizan en la industria como detectores de corriente en circuito de bucle magnético, Permitiendo aislamiento, DC y AC- precisión y acción de medidas de corriente.

Se probaron varios métodos antes de realizar un diseño para verificar que la desmagnetización es posible al 100 % con pérdidas de energía muy bajas, se implementaron para el metal ferromagnético del que está hecho el sócalo (en este caso la mu metal) esto se logro conociendo la física implicada en los materiales utilizados y haciendo pruebas de circuito de desmagnetización, lo que conllevó a la toma de datos para la posterior realización del diseño e implementación de este.

Dicho diseño que cumpliera con las mejores características de desmagnetización, menor pérdida de energía y mejor eficiencia, para lo cual el sócalo pudiera cumplir con el objetivo planteado de protección del sensor magnético de corriente DRV421 y su correspondientes pruebas de testeo en producción.

**Palabras Clave:** protección, energía, desmagnetización, Sócalo, ferromagnético

## **ABSTRACT**

**Title:** Design and development of a method for socket demagnetize used to protect the magnetic current sensor DRV421 during production testing.

**Author:** Cesar Omar Cordero Bautista

**Programme:** Electronic Engineering

**Director:** Ph.D. Ivaldo TORRES CHAVEZ

In a way this project is implemented to demagnetize the socket testing process used when testing the magnetic current sensors DRV421 which are used in industry and current sensors magnetic circuit loop, allowing isolation, DC AC-action precision current measurements.

Several methods before making a design to verify that the demagnetization is possible to 100% with very low energy losses were tested, were implemented to the ferromagnetic metal it is made the network socket (in this case the mu metal) knowing this was achieved the physics involved in the materials used and making degaussing circuit tests, which led to the collection of data for subsequent implementation of design and implementation of this.

This design meets the best features of demagnetization, less energy loss and better efficiency, to which the network socket could meet the stated objective of protecting the magnetic current sensor and corresponding tests DRV421 testing in production.

**Keywords:** protection, energy, demagnetization, Socalos, ferromagnetic

# 1. CAPÍTULO

En este capítulo encontrará la introducción, planteamiento del problema, justificación, las delimitaciones a tener en cuenta y finalmente antecedentes de trabajos.

## 1.1 introducción

Es bien sabido que para medir con precisión las propiedades magnéticas de un material, primero debe estar en un estado desmagnetizado. Por esta razón, las mediciones de curvas de magnetización y ciclos de histéresis utilizan materiales no magnetizados [1] y se piensa que la desmagnetización imprecisa es una causa principal de las variaciones en las propiedades magnéticas de corrientes continua en la medición de suaves ferromagnético [2]. El procedimiento estándar para desmagnetizar un material es aplicar un campo magnético con una dirección que cambia hacia atrás y adelante su magnitud, mientras que al mismo tiempo la amplitud del campo se reduce a cero.

En este trabajo se pretende mostrar los métodos más factibles para desmagnetizar un metal ferromagnético (mu metal) que es usado en la protección de sensores magnéticos de corriente con lo cual se pretende que dichos sensores no tengan interferencias de campos magnéticos internos del propio material.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION**

El problema surge de la necesidad de obtener mejores mediciones de los sensores magnéticos de corriente, se piensa que la desmagnetización imprecisa es una causa principal de las variaciones en las propiedades magnéticas de corriente en este y otro tipo de dispositivos, la idea general es poder desimantar los zócalos con los que se realiza las pruebas de estos dispositivos a nivel industrial para así obtener mejores mediciones de dichos dispositivos, este campo de desmagnetización es poco manejado en la actualidad y es un método de mucha importancia ya sea para proteger dispositivos de interferencias magnéticas o proteger información importante y costosa de una industria, la desmagnetización es una forma económica de ahorrar y mejorar la calidad de un proceso o un producto electrónico garantizando su perfecto funcionamiento a la hora de mediciones o protección de información. Muchos de los dispositivos de gran importancia requieren ser desmagnetizados como los MEG (Magneto encefalografía), marcadores magnéticos, monitores de pantalla magnética, microscopio electrónicos entre otros y se requiere de un proceso fiable que pueda desimantarlos correctamente, es por eso que se plantea buscar un diseño y un método que desmagnetice.

## **1.3 DELIMITACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Diseño y desarrollo de un método para desmagnetizar zócalos utilizados para la protección del sensor magnético de corriente DRV421 durante el proceso de testeo en producción.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar pruebas de métodos ya existentes de desmagnetización y seleccionar el más adecuado para el material ferromagnético que se está utilizando.
- Determinar si el método seleccionado es el más adecuado a implementar.
- Realizar mediciones y analizar los resultados permitiendo demostrar que el IC-socket (zócalo) se desmagnetiza.
- Implementar y probar el protocolo de desmagnetización con el método seleccionado

### **1.3.3 Acotaciones**

- Las bobinas Helmholtz (helmholtz coils)
- generadores de máx. 3ª.
- sistema automático de medida.
- sensores magnéticos batingtong y fluxgate Dvr de TI (Texas instrument).
- Suministro de voltaje AC.
- Medidores de voltaje y corriente
- software de computación para medición de campos.

## **1.4 ANTECEDENTES**

En los últimos años, el campo de la desmagnetización ha experimentado un crecimiento exponencial, tanto en el sector académico como en el sector privado, desarrollando tecnologías que buscan encontrar la mejor manera de tener una eficiencia en los procesos de magnetización y desmagnetización.

### **1.4.1 Calentamiento**

Calentar un pedazo de metal magnetizado en una llama causará la desmagnetización destruyendo el orden de largo alcance de las moléculas dentro del imán. Al calentar un imán, cada molécula es impregnada de energía. Esto lo obliga a que se mueva, sacando a cada molécula del orden dentro del imán y dejando la pieza de metal con muy poca o nada de magnetización [3].

### **1.4.2 Martilleo**

Cuando un imán se martilla o se forja, las vibraciones causadas por el impacto en el imán aleatorizan las moléculas magnéticas dentro de este, sacándolas de orden y destruyendo el orden de largo alcance del imán [4].

### **1.4.3 Campo de corriente alterna (CA)**

Usar corriente alterna produce un campo magnético que se puede mover y reducir para desmagnetizar materiales. Este campo creado por la corriente alterna lleva las moléculas magnéticas del imán en direcciones diferentes. Cuando la corriente alterna es alterada o es reducida, no todas las moléculas dentro del imán regresan a sus posiciones anteriores, lo que causa la aleatorización de las moléculas y la reducción de la fuerza del imán.[5]

#### 1.4.4 Herramientas magnetizadoras y desmagnetizadoras

Las herramientas magnetizadoras y desmagnetizadoras (VTMD) se utilizan para magnetizar y desmagnetizar las herramientas de acero, como las puntas de destornilladores, en cuestión de segundos. La herramienta para ser magnetizada o desmagnetizada se inserta en el agujero magnetizador y se agita de un lado a otro, repitiendo este proceso hasta que toda la herramienta sea magnetizada o desmagnetizada. [6][4]

**Figura 1. VTMD Magnetizador/Desmagnetizador**



Fuente: planeta electrónico [6]

#### 1.4.5 Desmagnetización de los cabezales de cinta

Los ingenieros de grabación desmagnetizan las cintas y los aparatos de cinta antes de grabar las sesiones en un estudio de grabación usando grabadoras magnéticas. Debes recordar quitar las cintas y apagar la alimentación de la grabadora antes de encender la alimentación del desmagnetizador. Una vez que la alimentación está conectada al desmagnetizador, lleva la punta del desmagnetizador al cabezal y pásalo por el cabezal de la cinta cinco veces. Cuando la desmagnetización esté completa, saca lentamente el desmagnetizador de la grabadora y desenchúfalo antes de utilizar la grabadora. [7]

# **2.CAPÍTULO**

## **MARCO TEÓRICO**

El presente capítulo aborda algunos conceptos de magnetismo, materiales ferromagnético y desmagnetización, se enfatiza en cómo se magnetizan y desmagnetizan dichos metales y su respuesta en el ciclo de histéresis. Conceptos sobre temperatura de Curie corrientes variables desmagnetizadoras entre otros temas que se requieren para el entendimiento del presente trabajo.

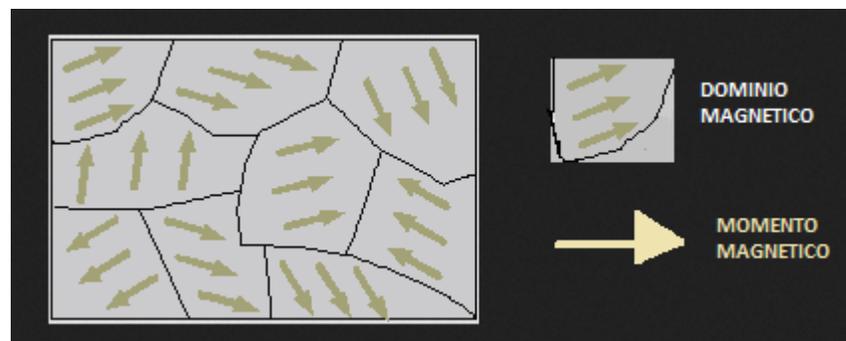
## 2.1 MATERIALES FERROMAGNETICOS

El ferromagnetismo es la Propiedad de algunos materiales que hace que resulten intensamente imantados cuando se sitúan en un campo magnético, y conserven parte de su imantación cuando desaparece dicho campo. [8]

El ferromagnetismo es un fenómeno que no se debe sólo a propiedades atómico-moleculares sino que es un efecto colectivo que requiere una estructura sólida. Los materiales ferromagnético son elementos de transición, con una configuración en sus átomos que favorece la interacción entre los dipolos magnéticos, los cuales se alinean paralelamente dentro de zonas que se llaman dominios. [9]

Como estos dominios se orientan aleatoriamente, no se genera imantación neta en el material véase Figura 2.

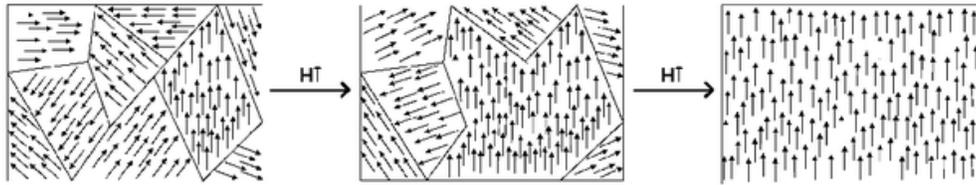
**Figura 2. Dominios magnéticos aleatorios**



Fuente: Autor

Dado que su permeabilidad y la susceptibilidad magnética son mayores a uno, el campo en el interior del material es mayor al campo magnético externo. Esto es debido a que los dominios dentro del material se orientan con el campo magnético externo reforzándolo y creando un imán general véase figura 3.

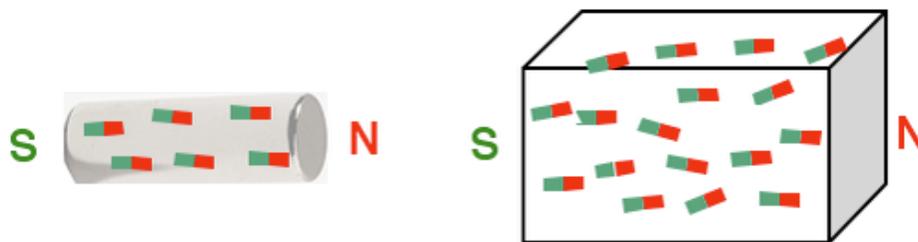
**Figura 3. Dominios magnéticos con campo externo**



Fuente: Preparada por José Lloret y Alicia Forment, y liberada bajo la GFDL. [10]

Orientación de los momentos magnéticos cuando se aplica un campo magnético externo su comportamiento es variado dependiendo del tipo de material siendo el caso de imán permanente o material ferromagnético ver figura 4.

**Figura 4. Orientación de campo dentro del material**

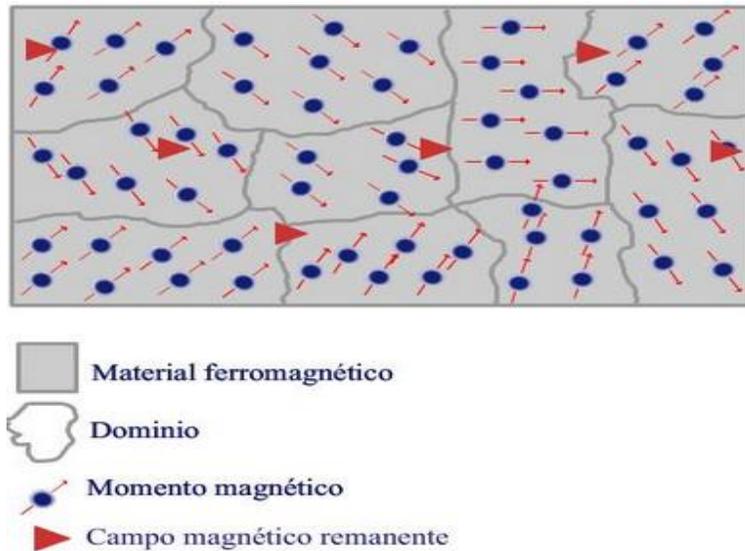


izquierda: imán permanente  
derecha: material ferromagnético

Fuente: supermagnete [9]

Si ahora se retira el campo externo, los efectos del campo aplicado no desaparecen por completo, quedando un magnetismo remanente, Éste magnetismo remanente se origina porque los momentos magnéticos de los dominios no vuelven a su orientación original Ver figura 5.

**Figura 5. Campo magnético remanente**



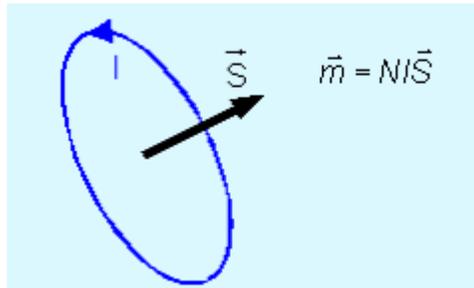
Fuente: cursó multimedia de electromagnetismo [9]

En los materiales ferromagnético un campo magnético externo produce una alineación de los momentos dipolares magnéticos, que puede persistir aunque no haya campo magnético externo. La causa es debida a la fuerte interacción entre momentos dipolares magnéticos de átomos vecinos, llegando a crear grandes regiones de tamaño microscópico llamados dominios magnéticos. Estos dominios magnéticos pueden crecer de tamaño cuando el campo magnético externo aumenta, y aunque éste desaparezca, los dominios magnéticos persisten. [11]

### **2.1.1 momento dipolar magnético**

El momento magnético de una espira de corriente se define como el producto entre el número de vueltas por la intensidad de corriente y por el vector superficie de la espira. [11] la figura 6 muestra como es el comportamiento de momento dipolar magnético en una espira.

**Figura 6. Momento dipolar magnético**



Fuente: proyecto de innovación docente nº 10.040 [11]

### 2.1.2 dominios magnéticos

El dominio magnético es un término utilizado para describir cuando el campo magnético de un grupo de átomos se alinea magnéticamente, cada átomo en un pedazo de metal no magnético es susceptible de convertirse en un dominio magnético.

### 2.1.3 características de los materiales ferromagnético

Los materiales ferromagnético tienen varias características entre las que destacan:

- Pueden imanarse mucho más fácilmente que los demás materiales. Esta característica viene indicada por una gran permeabilidad relativa.
  - Tienen una inducción magnética intrínseca máxima muy elevada.
  - Se imanar con una facilidad muy diferente según sea el valor del campo magnético. Este atributo lleva una relación no lineal la inducción magnética y campo magnético.
  - Un aumento del campo magnético les origina una variación de flujo diferente de la variación que originaría una disminución igual de campo magnético. Este atributo indica que las relaciones que expresan la inducción magnética y la permeabilidad como funciones del campo magnético, no son lineales ni uniformes.
  - Conservan la imanación cuando se suprime el campo.
  - Tienen a oponerse a la inversión del sentido de la imanación una vez imanados.
- [12][13]

### 2.1.4 propiedades de los materiales ferromagnético.

- Aparece una gran inducción magnética al aplicarle un campo magnético.
- Permiten concentrar con facilidad líneas de campo magnético, acumulando densidad de flujo magnético elevado.
- Se utilizan estos materiales para delimitar y dirigir a los campos magnéticos en trayectorias bien definidas.
- Permite que las maquinas eléctricas tengan volúmenes razonables y costos menos excesivos.[12][13]

## 2.2 PERMEABILIDAD MAGNETICA

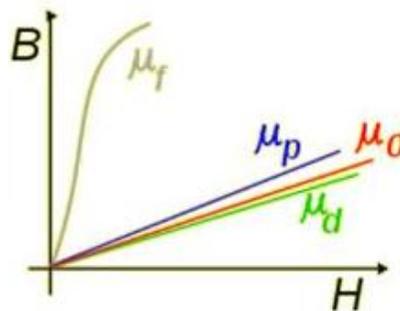
La permeabilidad magnética es la capacidad de transportar y hacer pasar en un medio o sustancia campos magnéticos la cual está dada entre la relación de inducción magnética (**B**) existente y la intensidad de campo magnético (**H**)

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2.1)$$

Otro concepto igualmente valido para definir la permeabilidad magnética es que La permeabilidad magnética nos indica con qué facilidad atraviesa el campo magnético la materia, o sea si esta es buena conductora o no del campo magnético. [12]

La capacidad de un material a ser magnetizado se llama permeabilidad magnética figura 7. Un ejemplo de esto es frotar un trozo de hierro con un imán. El hierro se convertirá en un imán y puede tener su propio campo magnético.

Figura 7. Permeabilidad de sustancias



Fuente: universidad de Vigo [9]

La permeabilidad de una sustancia se describe la forma en que responde el material y los efectos del campo en el material ver figura 7. Una sustancia con una permeabilidad magnética o bien magnetizará sí mismo en la dirección del campo o en oposición a ella. Así, dependiendo de la permeabilidad, la sustancia o será atraído o repelido por el campo. [15]

### 2.2.1 Permeabilidad magnética de vacío

Constante que aparece en la ley de Biot y Savart, cuyo valor es:

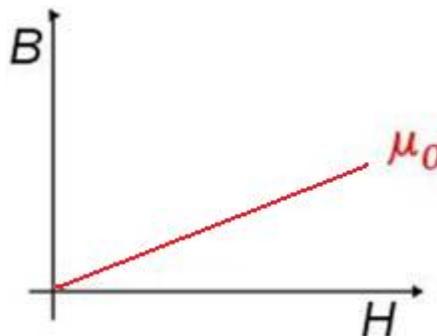
$$\mu_0 = 4 \text{ Pi} * \text{E-7} = 4 \times 3.14 \times 10^{-7} = 12.56 \times 10^{-7} \text{ (T} * \text{ m / A} = \text{ Wb / A} * \text{ m} = \text{ H / m)}$$

Estas relaciones están dadas por permitividad eléctrica en el vacío, la permeabilidad en el vacío es constante como se observa en la figura 8.

$$C = \frac{1}{\sqrt{E_0 * \mu_0}} \quad (2.2)$$

- m = metro
- A = amperio
- T = tesla
- Wb = weber
- H = Henrio

Figura 8. Permeabilidad del vacío



Fuente: universidad de Vigo [9]

## 2.2.2 Permeabilidad magnética de una sustancia

Es el producto entre la permeabilidad magnética relativa y la permeabilidad magnética de vacío.

Esta dada por la siguiente relación matemática.

$$\mu = \mu_r * \mu_0 \quad (2.3)$$

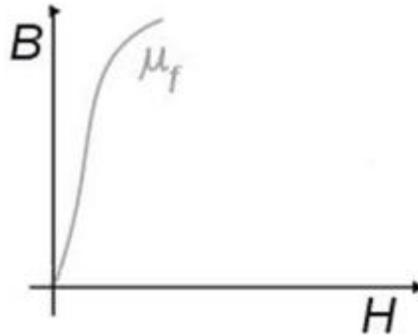
$\mu$  = permeabilidad magnetica

$\mu_r$  = permeabilidad relativa

$\mu_0$  = permeabilidad del vacio

Los Ferromagnético, cuyo valor de permeabilidad magnética relativa es muy superior a 1. Los materiales ferromagnético tienden a concentrar o atraer las líneas de campo en su interior. Ejemplos de ellos son el hierro y el níquel.

**Figura 9. Permeabilidad relativa**



Fuente: universidad de Vigo [9]

En el codo de la permeabilidad de la sustancia es variable según el tipo de sustancia pero muy similar en comportamiento figura 9.

### 2.2.3 Susceptibilidad magnética

La susceptibilidad magnética es el grado de magnetización de un material en respuesta a un campo magnético. La susceptibilidad magnética volumétrica se representa por el símbolo  $X_m$  y no tiene dimensiones. [18]

Dado que, en general,  $\vec{H}$  y  $\vec{M}$  no tienen la misma dirección, se puede definir la susceptibilidad a partir de sus módulos (ecuación 2.4).

$$X_m = \frac{|\vec{M}|}{|\vec{H}|} \quad (2.4)$$

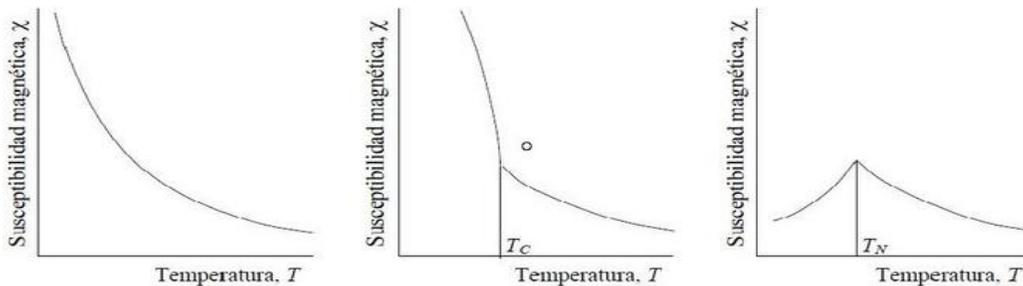
La susceptibilidad magnética y la permeabilidad magnética están relacionadas por la (ecuación 2.5).

$$\mu = \mu_0 * (1 + X_m) \quad (2.5)$$

Si la susceptibilidad ( $X$ ) es positiva (material ferromagnético o paramagnético) entonces,  $(1 + X_m) > 1$  en tal caso, el campo magnético se fortalece por la presencia del material. Alternativamente, si la susceptibilidad es negativa (material diamagnético), entonces  $(1 + X_m) < 1$ . Consecuentemente, el campo magnético se debilita en presencia del material.

La susceptibilidad varía con la temperatura. En la susceptibilidad magnética su comportamiento puede variar en función de la temperatura perdiendo magnetismo al aumento de la temperatura desde un punto conocidos como punto de curie y punto de temperatura de neel donde se pierde el anti ferromagnetismo, esta temperatura es análoga a la temperatura de curie ver figura 10.

**Figura 10. Susceptibilidad magnética contra temperatura**



Fuente: Web electromagnetismo [16]

### 2.2.3 permeabilidad magnética de algunos materiales

Metales ferromagnético tienen la mayor permeabilidad de todas las sustancias y se convertirá en magnetizado cuando están expuestos a un campo magnético. [15]

**Tabla 1. Permeabilidad de algunos materiales**

Material	Presentación	Composición aproximada (%)					Permeabilidad inicial (B=20, gauss)	Permeabilidad máxima	Densidad de saturación de flujo (B, gauss)
		Fe	Ni	Co	Mo	Otros			
Acero laminado en frío	Lámina	98.5	---	---	---	---	180	2,000	21,000
Hierro	Lámina	99.91	---	---	---	---	200	5,000	21,500
Hierro al 4%	Lámina	96	---	---	---	4 Si	500	7,000	19,700
	Lámina	97	---	---	---	3 Si	1,500	30,000	20,000
45 Permalloy	Lámina	54.7	45	---	---	---	2,500	25,000	16,000
Permalloy 45	Lámina	54.7	45	---	---	---	4,000	50,000	16,000
Monimax	Lámina	---	---	---	---	---	2,000	35,000	15,000
Sinimax	Lámina	---	---	---	---	---	3,000	35,000	11,000
Permalloy 78	Lámina	21.2	78.5	---	---	0.3 Mn	8,000	100,000	10,700
Permalloy 4-79	Lámina	16.7	79	---	4	0.3 Mn	20,000	100,000	8,700
Mu metal	Lámina	18	---	---	---	---	20,000	100,000	6,500

Fuente: magnetismo [15]

### 2.3 IMANTACIÓN O MAGNETIZACIÓN

Cuando un material es colocado en un campo magnético como ya se ha dicho los momentos dipolares dentro del material tienden a alinearse este proceso de medición se denomina imantación o magnetización que es la relación que existe entre el momento dipolar magnético por unidad de volumen.

$$m = \frac{dm}{dv} \quad (2.6)$$

Se mide en A/m.

Para describir la imanación se recurre a tres campos promediados en el espacio, que describen de forma macroscópica las cargas en movimiento, los momentos magnéticos cuánticos y el campo de inducción magnética:

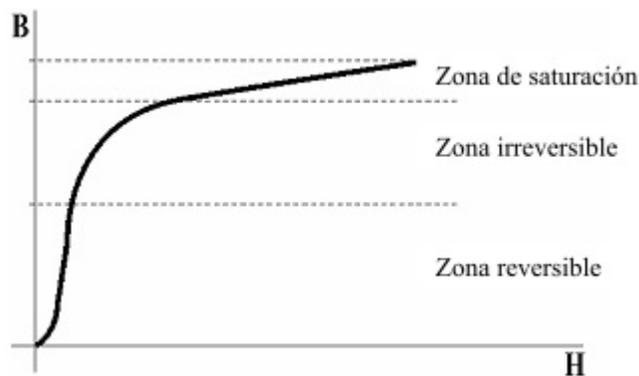
- **B** es el promedio del campo magnético microscópico (que se representa con la misma letra que el campo real, lo que da origen a confusiones).
- **M** se refiere a los momentos dipolares magnéticos de las cargas ligadas.
- **H** es la excitación magnética y se refiere a las corrientes libres y los polos magnéticos. Aunque se identifica con el campo externo, el campo **H** puede tener fuentes en el cuerpo magnetizado.[17]

La relación que existe entre estos campo es:

$$\frac{B}{\mu_0} = H + M \quad (2.7)$$

Que conocemos como la ecuación inducción magnética.

**Figura 11. Curva de imanación o magnetización**



Fuente: la web de física [19]

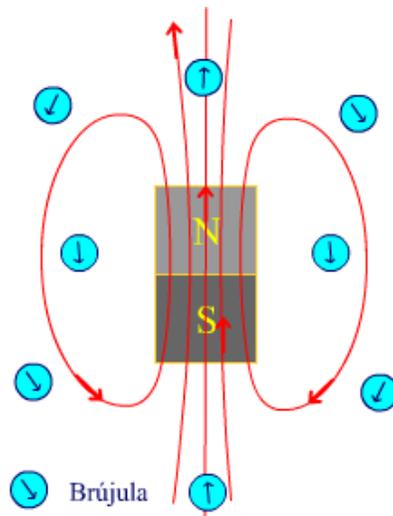
En la figura 11 vemos que se puede distinguir tres partes claramente diferenciadas en la curva de imanación. Se observan: una primera zona reversible, en la cual si eliminamos el campo H exterior, la densidad de flujo también desaparece; una segunda zona irreversible; y una última parte, que presenta la zona de saturación, en la cual la permeabilidad relativa es unitaria en esta zona a si agreguemos mas campo H el campo magnético B se mantiene constante.

### 2.3.1 Campo magnético

El campo magnético es la región del espacio en la que se manifiestan los fenómenos magnéticos. [9] Estos se representan según unas líneas de campo imaginarias (figura 12), que se pueden visualizar colocando un imán bajo una cartulina espolvoreada con limaduras de hierro (figura 13), la cuales se colocan siguiendo dichas líneas de campo.

Se observa que hay una diferencia fundamental entre el campo magnético y el eléctrico. En éste último, las líneas del campo se dice que nace en las cargas positivas y muere en las negativas. Por el contrario, en el campo magnético no existen ni fuentes ni sumideros, se cierra sobre sí mismo.

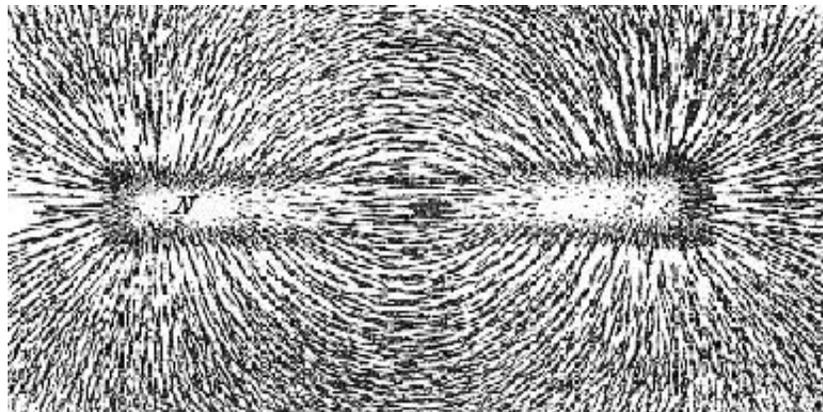
**Figura 12. Flujo magnético**



Fuente: universidad de Vigo [9]

La existencia de un campo magnético puede observarse gracias a la propiedad localizada en el espacio de orientar un magnetómetro (Figura 12). Esa modificación de las propiedades del espacio, que hacen que se orienten la brújula y las virutas de hierro sobre la cartulina (Figura 13), se identifica diciendo que existe un campo magnético.

**Figura 13.campo magnético**



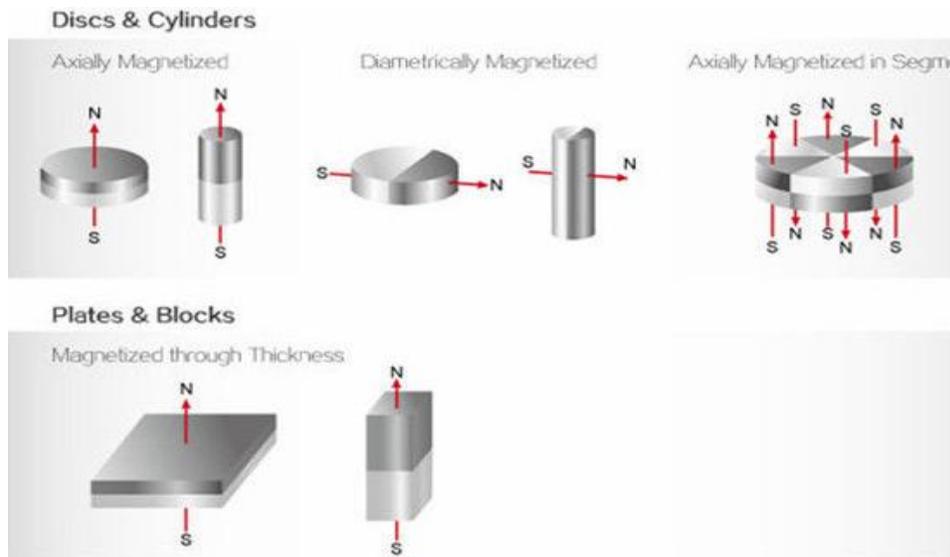
Fuente: wiki.org [20]

Desde un punto de vista macroscópico, el campo magnético se puede medir con una cualquiera de las siguientes tres magnitudes físicas: la excitación magnética (también denominada fuerza o campo magnetizante) y que se representa por el vector  $\vec{H}$ , la intensidad de campo  $\vec{B}$  o con el flujo magnético  $\Phi$ . [21]

### **2.3.2 métodos de magnetización**

Se pueden magnetizar materiales ferromagnético por inducción, colocándolos dentro de campos magnéticos intensos. Cuando se magnetiza un material ferromagnético, teóricamente, los dipolos magnéticos o los dominios, en el interior del material, se orientan en dirección del campo, de manera semejante a la orientación de una brújula en el campo de la Tierra. Si los materiales son de alta remanencia, se tienen imanes permanentes, si son de baja se obtienen imanes temporales. [6] la forma de magnetizar materiales puede variar según la forma en la que se aplique el campo magnético sea un disco o un cilindro obsérvese la figura 14.

**Figura 14. Formas de magnetizar**



Fuente: unidad de electromagnetismo [22]

Otras formas de imantar un ferromagnético es frotándolo con el polo de un imán en una única dirección al realizarlo la parte frotada adquiere un polo contrario al del imán transmitiéndose el efecto hasta el otro extremo donde se forma un polo contrario al formado durante el frotamiento.

### **2.3.3 Inducción Directa**

Se consigue haciendo pasar una corriente eléctrica a través de la pieza. La pieza es montada horizontalmente, sujeta por dos cabezales por los que circula la corriente. Otro método directo de inducir un campo magnético circular es por el uso de puntas de contacto [23].

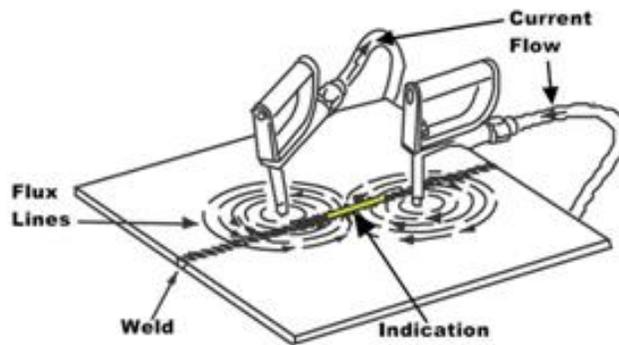
#### **2.3.3.1 Directa.**

La corriente magnetizante fluye directamente a través de la pieza, creando un flujo magnético circular en ella. Puntas de contacto, entre cabezales, pinzas o mordazas y electrodos imantados. La magnetización se efectúa por conducción de la corriente. [23]

### 2.3.3.2 Puntas de contacto

Se utilizan electrodos de cobre, bronce o aluminio; al hacer pasar la corriente a través de ellos, esto produce un campo magnético circular en la pieza, alrededor y entre cada electrodo suficiente para una exanimación local figura15. [24]

**Figura 15. Punta de contacto**



Fuente: Introduction to Nondestructive Testing [24]

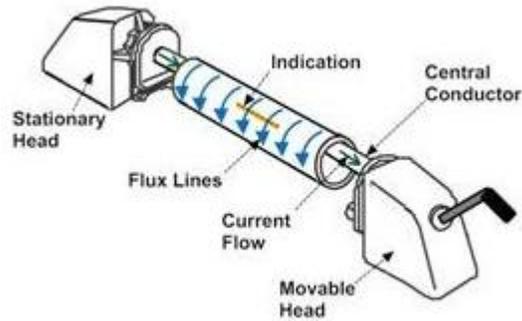
### 2.3.3.3 Pinzas

La corriente magnetizante se aplica a el objeto a magnetizara través de las pinzas produciéndose un flujo magnético circular en la pieza. [23]

### 2.3.3.4 Entre Cabezales

La pieza es colocada entre dos cabezales y se aplica la corriente directamente a través de ella, esto produce un campo magnético circular aproximadamente perpendicular a la dirección del flujo de la corriente figura 16. [24]

**Figura 16. Entre cabezales**



Fuente: gindt [24]

### **2.3.4 Inducción Indirecta**

La corriente eléctrica de magnetización se hace pasar por un conductor central, generalmente de cobre, que pasa a través de la pieza que se está probando.

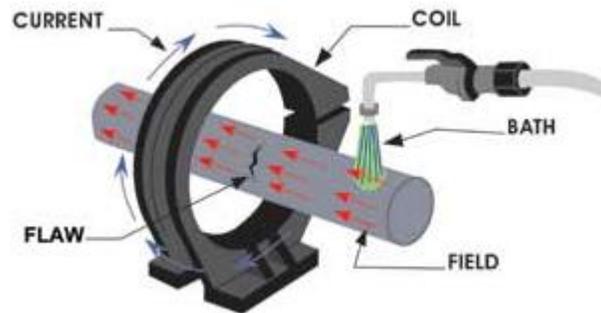
La corriente no fluye a través de la pieza, sino en un conductor secundario; el flujo magnético es inducido en la pieza, la cual puede crear un flujo circular, longitudinal o multidireccional. [25]

- Bobina.
- Cable enrollado.
- Yugo electromagnético.
- Conductor central.
- Bobina o cable enrollado

La magnetización se efectúa pasando corriente a través de una bobina fija de vueltas múltiples o cable enrollado alrededor de la pieza o en una sección de ella. [23]

Esto produce un flujo magnético longitudinal, paralelo al eje de la bobina como muestra la figura 17.

**Figura 17. Inducción indirecta**



Fuente: resoucer center [25]

### **2.3.4.1 Método Residual**

El medio se aplica después que la pieza ha sido magnetizada y suspendida, la fuerza magnetizante depende totalmente de la cantidad de magnetismo residual en la pieza, no es usado en aleaciones pobres de acero, que tienen poca retentividad. En este método se aplica un medio húmedo ya sea por baño o inmersión. [27]

### **2.3.4.2 Método continuo**

La aplicación del medio es simultánea con la operación de magnetización de la pieza. Se utiliza el baño húmedo de preferencia y puede ser con partículas teñidas con tintas fluorescentes. [27]

### **2.3.4.3 Magnetización circular**

Se induce un campo magnético circular dentro del metal de prueba por magnetización directa e indirecta. Una regla aceptable es utilizar de 800 a 1000 Amper por pulgada de diámetro de sección transversal cuando se aplique CRM (corriente rectificadora de media onda) de 500 a 600 Amper cuando se usa corriente alterna. [26]

#### **2.3.4.4 Magnetización longitudinal**

Se basa en la inducción de un campo longitudinal dentro de la pieza, creado por una bobina. La magnetización longitudinal localiza discontinuidades transversales. La cantidad de corriente necesaria para magnetización longitudinal con una bobina es determinada por la formula: [23]

$$No\ Ampers = \frac{4200D}{LT} \quad (2.8)$$

Donde:

L = longitud de la pieza en pulgadas

D = Diámetro en pulgadas

T = Numero de vueltas en la bobina

### **2.4 DESMAGNETIZACIÓN**

El magnetismo es un resultado de la alineación de dipolos magnéticos en el material en una dirección específica. En general, una pieza de hierro, por ejemplo, no sería magnético a menos que, en promedio, encontramos que los dipolos magnéticos o unidad imanes están alineados en una cierta dirección. Por lo tanto, para desmagnetizar un imán lo que tiene que hacer es causar desorden a la unidad de los imanes, alterando sus dominios magnéticos.

#### **2.4.1 desmagnetización por dominios magnéticos**

Los materiales se desmagnetizan cuando las moléculas magnéticas dentro de una sustancia son asignadas al azar, causando desorden general dentro del material magnético. Para que se produzca el magnetismo, las moléculas magnéticas o la unidad de los imanes están alineadas en una dirección, creando una fuerza uniforme de moléculas que giran en la misma dirección. [4] esto quiere decir que dentro del material los dominios magnéticos de esté no están polarizados en una misma dirección.

## **2.4.2 Estructura subatómica**

Toda la materia está compuesta de átomos. Los átomos, a su vez, se componen de pequeñas partículas subatómicas que transportan cargas eléctricas. Cuando estas partículas cargadas se mueven se llaman una corriente eléctrica. [5] Uno de los efectos de una corriente eléctrica es la creación de un campo de fuerza magnética que lo rodea

En la mayoría de los materiales estos campos apuntan en muchas direcciones diferentes, y se anulan entre sí. Pero alinearse genera la creación de un único gran campo magnético.

### **2.4.2.1 Calefacción y refrigeración**

Algunos metales, como el hierro y el acero, se pueden dar un campo magnético mediante la colocación de ellos en un campo magnético externo. Cuando se elimina este campo un pequeño campo magnético permanece en el metal. Sin embargo, si el metal se calienta en presencia de un campo magnético externo y se dejó enfriar en el mismo, será mantener un campo magnético fuerte si propia. Esto se debe a que cuando está caliente, los diminutos campos magnéticos en el interior del metal son fáciles de mantener alineados. Esto muestra la primera forma de desmagnetizar un imán: calentarlo y dejar enfriar sin un campo magnético externo para mantener sus campos internos vigentes. [28]

### **2.4.3 Otros métodos**

Un imán pueden desmagnetizarse por la exposición a un más potente campo magnético de polaridad opuesta. Esto puede abrumar y cancelar su orden magnético. [28] creando en él una orientación aleatoria de los dominios magnéticos Algunos imanes, especialmente los viejos imanes hechos de acero y sus aleaciones, se pueden desmagnetizarse por un choque físico repentino.

### **2.4.4 La temperatura de Curie**

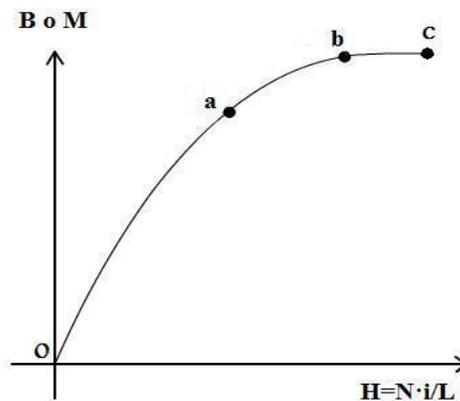
Todos los metales magnetizables tienen una cierta temperatura crítica del pasado que cambia sus propiedades magnéticas, según las referencias de la física en la Universidad Estatal de Georgia. Esta temperatura, llamado la temperatura de Curie, marca una ruptura repentina en la capacidad del metal para ordenar sus campos magnéticos internos. El metal no necesita ser enfriado sin una desmagnetización campo magnético externo si pasa su temperatura de Curie. Esta pérdida de propiedades magnéticas se produce cuando hace mucho calor [28], mas detalles sobre la temperatura de curie en la sección 2.6.

## 2.5 CICLO DE HISTÉRESIS

### 2.5.1 Curva de magnetización

Se denomina curva de magnetización de un material, o característica magnética, a la representación cartesiana de los valores de la inducción magnética  $B$  (vertical) y de la excitación magnética  $H$  (horizontal), como se muestra en la Figura 18. En ocasiones se representa la imanación  $M$  en lugar de la inducción  $B$ . [9]

Figura 18. Curva de magnetización



Fuente: universidad de Vigo [9]

Si aumentamos la excitación magnética progresivamente desde cero (aumentando la intensidad) y se representa la curva de magnetización, se observa que la inducción es proporcional a  $H$  y que el tramo **oa** (figura 18) es prácticamente recto. Esto se debe a que la permeabilidad es constante y alta (cuanto más alta es la permeabilidad más vertical será la gráfica en este tramo).

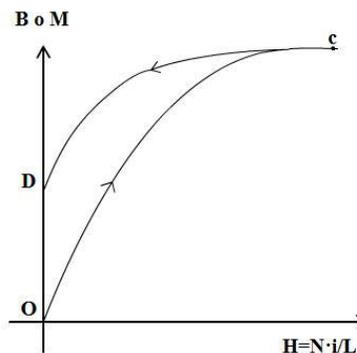
Llegados al punto **a** la gráfica deja de ser lineal, o lo que es lo mismo, la permeabilidad deja de ser constante. A este tramo **ab** se le denomina codo de saturación. Alcanzado el punto **b** la gráfica vuelve a ser lineal. En el tramo **bc** el material está completamente saturado. Esta saturación supone que para grandes aumentos de la excitación no se detectan cambios significativos de la inducción  $B$ . En esta zona el material tiene baja permeabilidad (se comporta prácticamente como el aire). [9]

A nivel molecular, lo que sucede en los materiales ferromagnético es que al aplicarles un campo los momentos magnéticos de los dominios se orientan con él a medida que este aumenta (tramo **ab**). Una vez alineados con el campo se alcanza la saturación del material (a partir de **b**) lo que supone que no existen más dominios que puedan contribuir a la inducción o magnetización del material. Por esta razón, una vez saturado el material, el valor de la inducción prácticamente no varía. [25]

### 2.5.2 Ciclo de histéresis

En un material ferromagnético se ha visto que al retirarle el campo aplicado no vuelve a su estado original ya que conserva un magnetismo remanente [25]. Si partiendo del punto del punto **c** de la Figura 18, se disminuye el valor de la excitación hasta anularla se observa que la nueva grafica no coincide con la inicial (Figura 19). Puede observarse que en ausencia de excitación ( $H=0$ ) el valor de la inducción no toma un valor nulo si no que viene dado por el valor del tramo **OD** en coordenadas. Este valor se conoce como magnetismo remanente. [9]

Figura 19. Ciclo de histéresis fig\_1



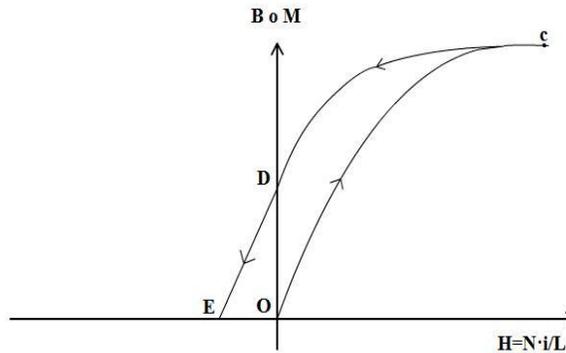
Fuente: universidad de Vigo [9]

Este magnetismo remanente lo originan los momentos magnéticos de los dominios del material que no vuelven al estado original después de retirar el campo aplicado, sino que quedan parcialmente orientados. Todos los materiales ferromagnético presentan un cierto grado de magnetismo remanente.

Si ahora se continúa disminuyendo el valor de  $H$  (invirtiéndolo), se llega a un estado determinado por el punto **E** (Figura 20). En dicho punto el magnetismo remanente se anula, para ello es necesario aplicar una excitación o fuerza magneto motriz (f.m.m flujo magnético entre dos puntos) de valor **EO**. Este valor se denomina fuerza coercitiva. Si

ahora se anula la excitación, el material queda desimantado (la suma neta de los momentos de los dominios del material es cero). [18]

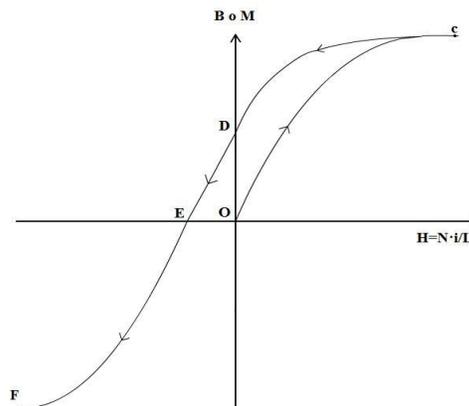
**Figura 20. Ciclo de histéresis fig\_2**



Fuente: universidad de Vigo [29]

Si en lugar de anular la excitación, la seguimos aumentando, se produce un campo inverso al anterior con valores de inducción  $B$  negativos (Figura 21). Aumentando el valor de campo se produce el mismo efecto descrito anteriormente. En un primer tramo, para aumentos pequeños de  $H$  se producen grandes aumentos de  $B$ , este tramo se mantiene hasta alcanzar, de nuevo, el codo de saturación y, posteriormente, la saturación del material en el punto  $F$ . [9]

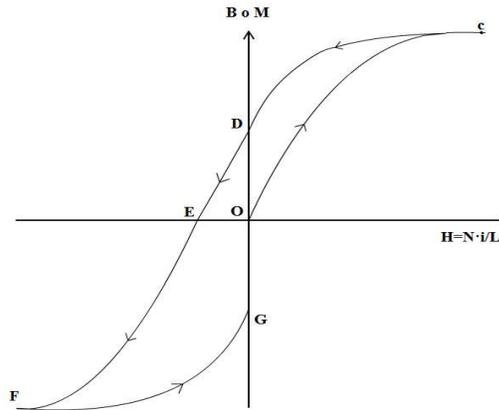
**Figura 21. Ciclo de histéresis fig\_3**



Fuente: universidad de Vigo [9]

Si nuevamente se disminuyo el módulo de la excitación magnética hasta anularla (Figura 22), es vuelve a tener un magnetismo remanente dado por **OG**, similar al **OD** obtenido anteriormente, pero de sentido opuesto.

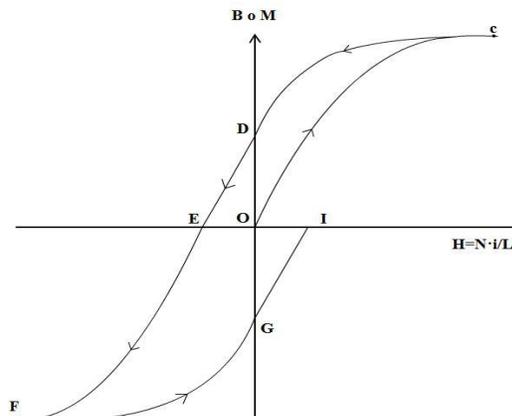
**Figura 22. Ciclo de histéresis fig\_4**



Fuente: universidad de Vigo [9]

Ahora, aumentando la excitación de nuevo, se llega al punto **I** (Figura 23) donde, con una excitación **OI**, se vuelve a desmagnetizar el material. En este punto los dominios están desorientados.

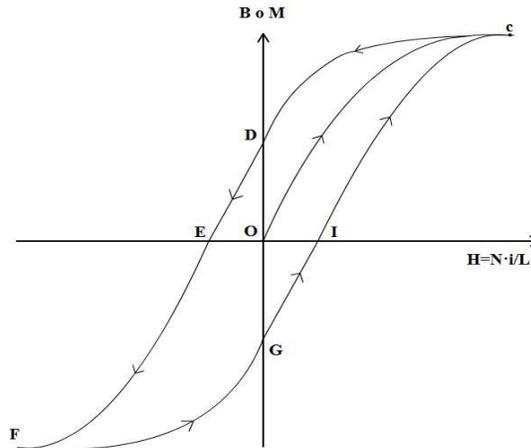
**Figura 23. Ciclo de histéresis fig\_5**



Fuente: universidad de Vigo [29]

Finalmente, aumentando más la excitación, se vuelve al punto de saturación **C** en el que se cierra el ciclo (Figura 24). Se obtiene, así, la característica magnética completa, cuya forma recibe el nombre de ciclo de histéresis magnética. [29]

**Figura 24. Ciclo de histéresis fig\_6**



Fuente: electricidad [29]

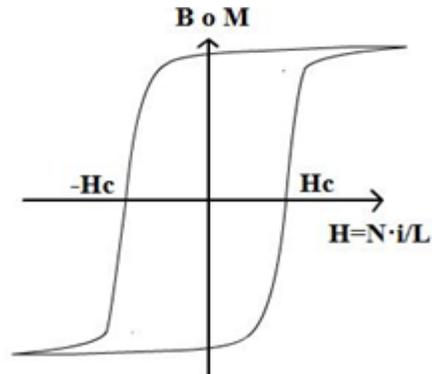
### 2.5.3 clasificación de la histéresis

Según su ciclo de histéresis, los materiales se pueden clasificar en:

#### 2.5.3.1 Materiales magnéticos duros

Los materiales magnéticos duros se caracterizan por una alta fuerza coercitiva  $H_c$  y una alta inducción magnética remanente  $B_r$  (Figura 25), de este modo, los ciclos de histéresis de estos materiales son anchos y altos. Estos materiales, una vez se imantan, son difíciles de desimantar, por ello se utilizan para fabricar imanes artificiales. [29]

**Figura 25. Curva de histéresis de un material magnético duro**

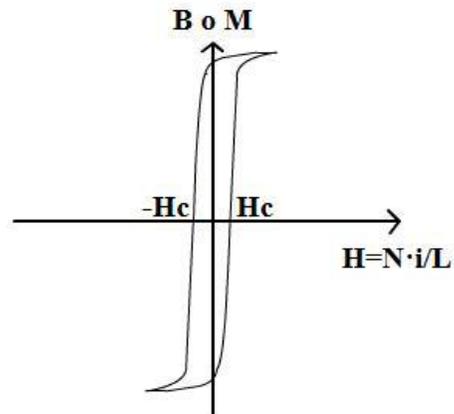


Fuente: electricidad [29]

### **2.5.3.2. Materiales magnéticos blandos**

Los materiales magnéticos blandos se iman y desiman fácilmente, por lo que presentan curvas de histéresis de apariencia estrecha con bajos valores de fuerza coercitiva ( $H_c$ ) y alta saturación (Figura 26). Por tanto, tienen permeabilidades magnéticas altas.

**Figura 26. Curva de histéresis de un material magnético blando**

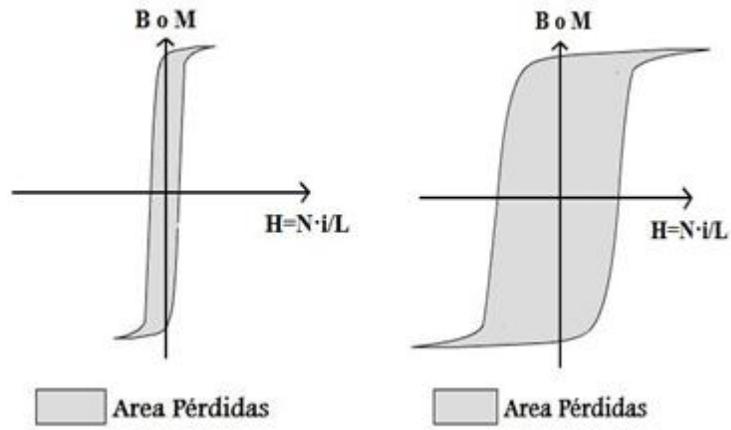


Fuente: electricidad [29]

### 2.5.4 Pérdidas por histéresis magnética

El proceso de magnetización y desmagnetización descrito anteriormente provoca calentamientos en el material que indican disipación de energía (figura 27). Estas pérdidas se deben a la diferencia entre la energía transferida al campo durante la magnetización y la que se devuelve en la desmagnetización. Se ha demostrado que el valor de estas pérdidas coincide con el área encerrada por el contorno del ciclo de histéresis. [29]

Figura 27. Pérdidas en materiales blandos (izquierda) y duros (derecha)



Fuente: electricidad y universidad de Vigo [29] [9]

### 2.6 MU METAL

Mu metal alta permeabilidad material de blindaje magnético es una aleación de níquel-hierro-molibdeno 80% no orientado que ofrece extremadamente alta permeabilidad inicial y máxima permeabilidad con la mínima pérdida de histéresis. [30]

**Tabla 2. Propiedades de la mu metal**

Carbon	0.02%	Nickel	80.00%
Manganese	0.50%	Molybdenum	4.20%
Silicon	0.35%	Iron	Balance
<b>Electrical Resistivity</b>			
ohm-cir mil/ft		349	
microhm-mm		580	
<b>Temperature coefficient of electrical resistivity</b>			
per °F from 0/930°F		0.0006	
per °C from -17.8/499°C		0.0011	
<b>Curie temperature</b>		860°F (460°C)	
<b>Melting point</b>		2650°F (1454°C)	
<b>Specific heat, Btu/lb · °F</b>		0.118	
<b>kJ/kg · K</b>		0.494	

Fuente: delta\_mumetal\_specifications [30]

### 2.6.1 La protección magnética

La alta permeabilidad de la mu-metal proporciona una ruta de baja resistencia para el flujo magnético (medida de cantidad de magnetismo), lo que lleva a su uso principal, en escudos magnéticos contra campos magnéticos estáticos o que varían lentamente. La protección magnética realizada con aleaciones de alta permeabilidad como las piezas de mu-metal y no mediante el bloqueo de los campos magnéticos, sino por derivación de ellos, establece una ruta para las líneas de campo magnético alrededor de la zona blindada. [30] Así que la mejor forma para los escudos es la de un recipiente cerrado que rodea el espacio protegido.

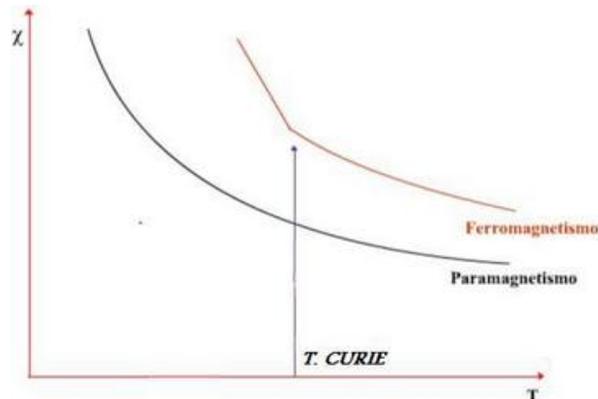
La eficacia de la protección con mu-metal disminuye con la permeabilidad de la aleación, que deja pasar tanto a los campos de intensidad baja como, debido a la saturación, a los campos de intensidad alta. Así los escudos de mu-metal están a menudo en forma de varios recintos, unos en el interior del otro, cada uno de los cuales reduce sucesivamente el campo en su interior. [31]

## 2.7 TEMPERATURA DE CURIE

Se denomina temperatura de Curie (en ocasiones punto de Curie) a la temperatura por encima de la cual un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo, comportándose como un material puramente paramagnético. Esta temperatura característica lleva el nombre del físico francés Pierre Curie, que la descubrió en 1895. [32]

Pierre Curie descubrió, junto a su hermano Jacques, el efecto piezoeléctrico en cristales, estableciendo que la susceptibilidad magnética de las sustancias paramagnéticas depende del inverso de la temperatura, es decir, que las propiedades magnéticas cambian en función de la temperatura. En todos los ferromagnetos encontró un descenso de la magnetización hasta que la temperatura llegaba a un valor crítico, llamada temperatura de Curie ( $T_c$ ), donde la magnetización se hace igual a cero; por encima de la temperatura de Curie, los ferromagnetos se comportan como sustancias paramagnéticas véase la figura 28. [33]

**Figura 28. Temperatura de curie**

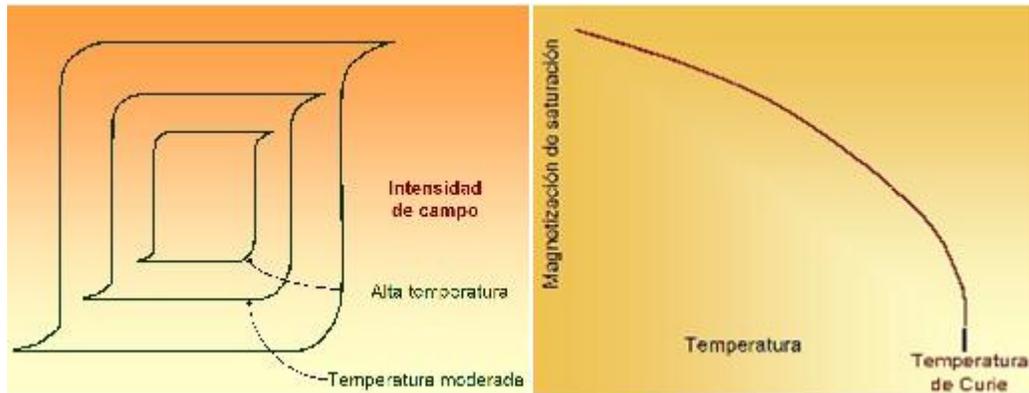


Fuente: universidad de Vigo [9]

### 2.7.1 Efectos de la temperatura de curie

Si se obtiene la curva de histéresis B-H a diferentes temperaturas, se observa un comportamiento similar al mostrado por la figura 29. Conforme la temperatura aumenta, disminuye  $M_s$  (magnetización de saturación) y  $B_s$  (Inducción de saturación) hasta que por encima de una temperatura crítica el material deja de mostrar comportamiento ferromagnético y se convierte en paramagnético. [34]

**Figura 29. Efecto de la Temperatura y Ms de un material ferromagnético**



Fuente: cursó de fundamentos de ciencia de materiales [34]

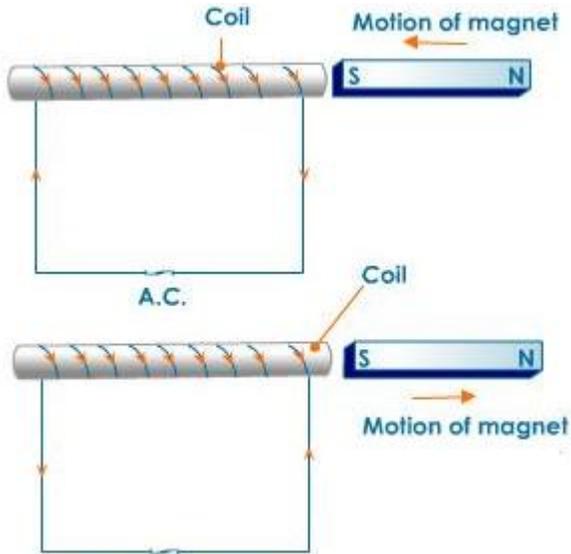
Los aumentos de temperatura provocan, por efecto de la agitación térmica, que los dipolos elementales no puedan alinearse de forma perfectamente paralela. Por encima de una temperatura crítica, conocida como Temperatura de Curie, característica de cada material, el alineamiento paralelo de espines desaparece y también desaparecen los dominios magnéticos. [34] El ferromagnetismo desaparece y el material se comporta como si fuese paramagnético. Al enfriar el material por debajo de la temperatura de Curie aparecen de nuevo los dominios y el material se comporta de nuevo como ferromagnético.

## 2.8 EL USO DE UN CAMPO DE CA (CORRIENTE ALTERNA)

Este método utiliza un campo magnético generado por una corriente que fluye a través de un solenoide para cambiar el orden del dipolo magnético. Una corriente de CA se utiliza para producir un campo magnético la cual cambia la dirección cerca del imán. El campo magnético causado que los dipolos magnéticos cambien de dirección muchas veces. Cada vez que el campo cambie de dirección algunos de los dipolos magnéticos van a tratar de alinearse a lo largo de esa dirección del campo. Si el campo es lo suficientemente grande, muchos se alinean a lo largo de esa dirección. Cuando el campo se reduce y se revierte no todos estos polos magnéticos se revertirán. [5], Entonces mediante la repetición de este proceso muchas veces (por eso se necesita una corriente alterna) y también por la reducción de la magnitud de la corriente a medida que avanzamos se puede llegar a una desmagnetización total del material, al mirar la figura 30 vemos que Cuando se inicia el

flujo de corriente a través de la bobina, el imán se retiró de la bobina en dirección este-oeste y se mantiene lejos. El campo magnético producido debido a la corriente alterna cambia su dirección de forma continua. A medida que el imán se retira lejos la magnetización se vuelve más y más débil hasta que finalmente el imán está completamente desmagnetizado. [36]

**Figura 30. Sistema alterno de corriente**



Fuente: desmagnetizer [36]

A menudo es un inconveniente para calentar un material por encima de su temperatura de Curie a desmagnetizar ella, por lo que otro método que devuelve el material a un estado casi no magnetizado se utiliza comúnmente. Someter el componente a un campo magnético de marcha atrás y la disminución de los dipolos volverá a una orientación casi al azar en todo el material. Esto se puede lograr tirando un componente fuera y lejos de una bobina con corriente alterna que pasa a través de él. El mismo también se puede lograr usando un yugo electromagnética con AC seleccionado. Además, muchas unidades de inspección de partículas magnéticas estacionarias vienen con una función de desmagnetización que reduce lentamente el aire acondicionado en una bobina en la que se coloca el componente. [35]

## **2.9 CORRIENTES DE FOUCAULT**

Se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa. El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor. Estas corrientes circulares de Foucault crean electroimanes con campos magnéticos que se oponen al efecto del campo magnético aplicado [37] Cuanto más fuerte sea el campo magnético aplicado, o mayor la conductividad del conductor, o mayor la velocidad relativa de movimiento, mayores serán las corrientes de Foucault y los campos opositores generados, Las corrientes de Foucault crean pérdidas de energía a través del efecto Joule. Más concretamente, dichas corrientes transforman formas útiles de energía, como la cinética

### **2.9.1 Efecto Joule**

Si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. [38] Este calor generado por el movimiento cinético es debido a la corriente de Eddy o corriente de Foucault.

### **2.9.2 Causas del fenómeno**

Los sólidos tienen generalmente una estructura cristalina, ocupando los átomos o moléculas los vértices de las celdas unitarias, y a veces también el centro de la celda o de sus caras. Cuando el cristal es sometido a una diferencia de potencial, los electrones son impulsados por el campo eléctrico a través del sólido atravesando la red de átomos que lo forma. En su camino, los electrones chocan con estos átomos perdiendo parte de su energía cinética, que es cedida en forma de calor. [38]

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "El calor generado por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente se expresa como:

$$Q = I^2 * R * T \quad (2.9)$$

Donde Q es la energía calorífica producida por la corriente expresada en joule I es la intensidad de corriente que circula por el conductor R la resistencia de este conductor y T el tiempo.

## **2.10 SOFTWARE**

### **2.10.1 ExpressPCB**

El programa de diseño de la placa de circuito ExpressPCB es muy fácil de aprender y utilizar. Trazado de los PCB es fácil, incluso para el usuario por primera vez. El diseño de placas de circuito es simple para el principiante y eficiente para el profesional. Lo mejor de todo, es gratis. Nuestro software de diseño de la electrónica incluye dos aplicaciones, una para los esquemas de dibujo, el otro para el diseño de PCB.

Ambos programas son completamente libres, completamente funcionales y de fácil instalación con un solo programa de instalación InstallShield. Se ejecutan bajo Microsoft Windows NT, 2000, XP, Vista, Windows 7, 8.1 y Windows 10.

Aprender a usar el software es rápido debido a su interfaz de usuario estándar de Windows. Después de pasar los pocos minutos para aprender uno, el otro toma muy poco tiempo, ya que funciona de la misma manera. El manejo de estos dos plataformas son complementadas.[39]

### **2.10.2 Finite Element Method Magnetics (FEMM)**

Método de Elementos Finitos Magnetics (FEMM) es un paquete de elementos finitos para la resolución de problemas y planos en 2D con simetría axial en el magnetismo de baja frecuencia y la electrostática. La versión actual del programa se ejecuta bajo ejecuta bajo Windows 2000, XP, Windows 7 y Windows 8. El programa también ha sido probado en ejecución en el vino en máquinas Linux.

El paquete se compone de un caparazón interactivo que abarca pre- gráfica y procesamiento posterior; un generador de mallas; y varios solucionadores. Un lenguaje de programación potente, Lua 4.0, está integrado con el programa. Lua permite a los usuarios crear experimentos de lotes, describen geometrías de forma paramétrica, realizan optimizaciones, etc. Lua también está integrado en cada cuadro de edición en el programa, de modo que las fórmulas se pueden introducir en lugar de valores numéricos, si se desea. [40]

### **2.10.3 LabVIEW**

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. [41]

#### **2.10.3.1 Lab Tracer**

La aplicación Keithley LabTracer permite a un usuario para coordinar las actividades de medición y fuente de hasta 4 instrumentos de la serie SourceMeter. Puede obtener lecturas actuales de tensión y / o de cualquiera de los instrumentos, así como una marca de tiempo para cada conjunto de mediciones. El software es compatible con el barrido y la intensificación de las dos fuentes de corriente y de tensión que permiten la colección de familias completas de curvas que pueden ser exportados a MS Excel para el cálculo y distribución de datos. Este software libre es ideal para el trabajo de laboratorio y pruebas, ya que representa un método simple y barato de recoger las características importantes de semiconductores en un formato fiable. El uso de estas técnicas siguientes ayudará a simplificar los experimentos al tiempo que mejora los resultados y maximizar la eficiencia. [42]

## **3. CAPÍTULO**

# **METODOLOGÍA NO IMPLEMENTADA**

El presente capítulo explicará por medio de diagramas y teorías las metodologías estudiadas pero no implementadas en el proyecto, cómo funcionan y por qué no se implementaron en la práctica.

### 3.1 MÉTODO DE DESMAGNETIZAR LA MU METAL POR MEDIO DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

La idea general para implementar este método es poder alcanzar la temperatura de curie por medio de la corriente de Foucault y el efecto joule que este produce, explicados ya en el marco teórico

Figura 31. Diagrama del bloque de método de inducción magnético



Fuente: Autor

En la figura 31 se muestra el diagrama de bloques del sistema y a continuación se describen cada uno de los pasos a realizar para implementarlo en la práctica.

#### 3.1.1 inductor magnético

El método de calentamiento por inducción se utiliza para tener una fuente de calor constante y rápida es buena para modificar las propiedades de un metal ferromagnético.

Este proceso depende de corrientes eléctricas dentro del material para producir calor, el calentamiento por inducción se convierte en un método de calentamiento simple y económico.

Los componentes básicos de un sistema de calentamiento por inducción son una fuente de alimentación de CA, una bobina de inducción y la pieza que se va a calentar. La fuente de

alimentación transmite corriente alterna por la bobina, con lo que se genera un campo magnético.

Cuando se coloca la pieza dentro del campo magnético de la bobina, aparecen corrientes por efecto de la inducción en su interior por efecto de corriente de Foucault, generándose calor puro en cantidades precisas y localizadas sin que exista un contacto físico directo

### **3.1.1.1 Ventajas principales del calentamiento por inducción**

- Ausencia de contacto físico
- Generación del calentamiento en el lugar requerido, el calor inducido se puede dirigir con facilidad; se puede calentar un área reducida sin que afecte a las áreas que la circundan
- Ausencia de pérdidas en transferencia calóricas
- Rapidez y precisión, el calor se genera directa e instantáneamente dentro de la pieza.
- Fácil automatización y control del ciclo de trabajo.
- El proceso es limpio, no crea polución ni produce emisiones dañinas, gases de escape, humo ruidos fuertes o contaminación térmica.[43]

### **3.1.1.2 Componentes Básicos**

Los elementos básicos de un sistema de calentamiento por inducción son un generador de corriente alterna, una bobina inductora, y la pieza de trabajo (material que se va a calentar o tratar). El generador envía corriente alterna a través de la bobina, generando un campo magnético. Cuando se coloca la pieza de trabajo en la bobina, el campo magnético induce corrientes de Foucault en la pieza, generando cantidades precisas de calor limpio, localizado, sin que exista contacto físico entre la bobina y la pieza de trabajo. [44]

### **3.1.2 medidor de campo magnético**

El magnetómetro es el encargado de mandarnos el dato al circuito de control de qué cantidad de magnetismo tiene nuestra pieza a ser desmagnetizada, en esta parte del proceso usaríamos la información de cuando el material está magnetizado con un campo magnético remanente y cuando este ha logrado su objetivo de desorientar sus dominios para no tener magnetismo. En la actualidad hay muchos magnetómetros muy efectivos y de bajo coste para la implementación ya sea para proyectos personales o de gran escala.

Para la práctica de este método es necesario conocer el campo magnético generado por el inductor magnético y luego cual es el campo magnético de la pieza individualmente la diferencia que hay entre los dos nos indicara cuanto campo magnético nos faltara para desmagnetizar la pieza completamente.

### **3.1.3 circuito de control**

Esta parte del método consta de un circuito a base de microcontroladores en el cual implementamos un método de control on off al sistema, recibiendo la señal proveniente del magnetómetro y teniendo una base comparativa, esta base nos indicara si hay campo magnético en la pieza si es el caso la salida se mantiene activa y solo se apagara el sistema cuando no haya magnetismo en la pieza, no se requiere un control más preciso ya que la variación de calor no es indispensable lo que quiere decir que podemos tener márgenes mayores y menores sin que se vea afectado las mediciones de campo magnético general de nuestra pieza

La temperatura que debemos colocar en sistema para el control on of es la descrita en la tabla 2 del capítulo 2 la cual nos indica que para el mu metal la temperatura de curie es de 460 °c esta es la temperatura de curie para que el material mu metal pierda su magnetismo.

### **3.1.4 activar circuito de inducción**

El circuito para activar el inductor magnético es sencillo pues se requiere un componente de electrónica de potencia ya usado en la práctica como puede ser un tiristor (rectificador controlado por silicio) para el control de potencia eléctrica, se constituye por tres terminales: ánodo (A), cátodo (K) y compuerta (G). Este dispositivo sería el encargado de activar nuestro inductor magnético por medio de nuestro circuito de control ya planteado anteriormente

Se usa este dispositivo por su versatilidad y economía además de facilidad de uso.

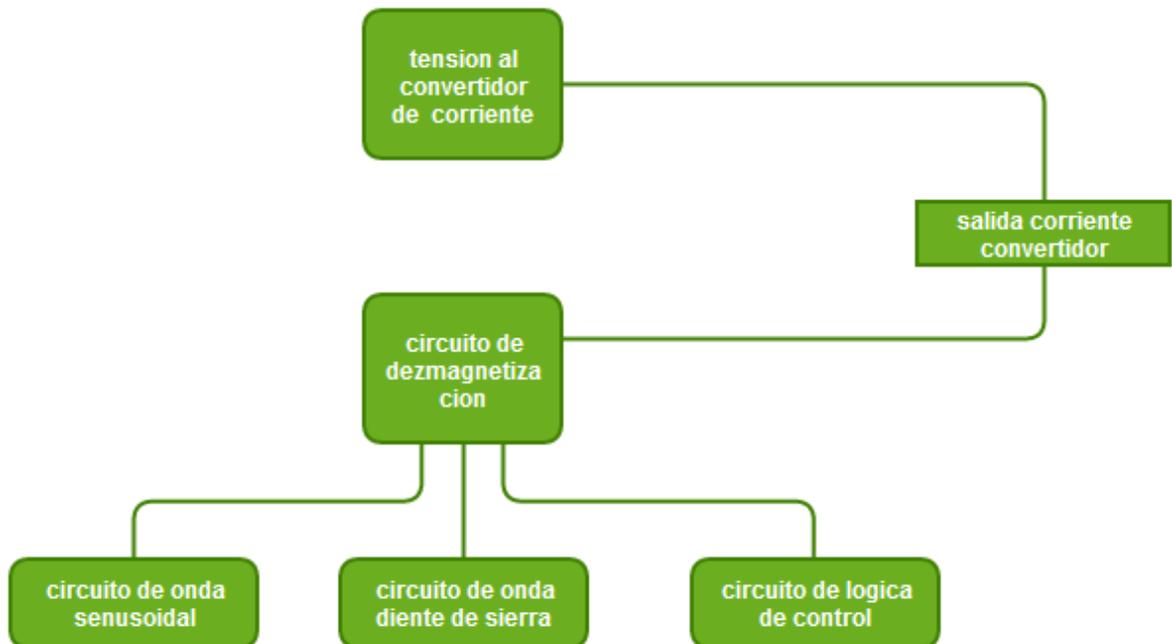
### **3.1.5 por que no se implemento este método**

Este método no puede ser implementado ya que la mu metal (material del que está hecho el sócalo) pierde sus propiedades magnéticas a partir de los 460°C haciendo que haya deformamiento de este lo que no es permitido para nuestro trabajo con el sócalo y la protección de este a los sensores de corriente dvr421.

## 3.2 CIRCUITO DE DESMAGNETIZACIÓN Y MAGNETIZACIÓN IMPLEMENTANDO UNA ONDA SENOIDAL CORRECTIVA

Este es un circuito que aplica una forma de onda magnética variable y una corriente oscilante de amplitud decreciente que se usa para genera un campo magnético y una onda de desmagnetización. El diagrama de bloques de la figura 32 ilustra cuales son los pasos para realizar este método de onda magnética variable.

Figura 32. Diagrama de bloque del método de onda magnética variable



Fuente: Autor

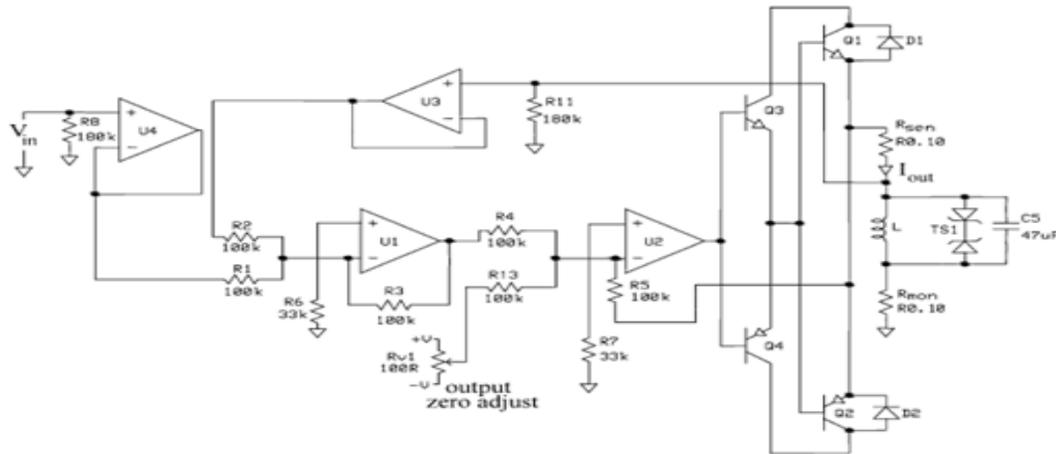
El circuito consta de dos partes principales, una tensión al convertidor de corriente que proporciona una corriente proporcional a una tensión de entrada, y un circuito de desmagnetización que produce una tensión sinusoidal de la disminución de amplitud. [45] A continuación, describimos estas partes en detalle

### 3.2.1 tensión al convertidor de corriente

Voltaje de convertidor de corriente realiza una tensión de entrada, ( $V_{in}$ ), y produce una corriente de salida, ( $I_{out}$ ) como se ve en la figura 33, relacionado entre sí por la ley de ohm. La corriente se pasa a través de una bobina, ( $L$ ), en cuyo interior se coloca la muestra

magnética que será magnetizado o desmagnetizado. La máxima corriente suministrada depende de la tensión nominal de los amplificadores operacionales y la capacidad de corriente de los transistores de salida, respectivamente. [45]

**Figura 33. Circuito de voltaje de convertidor a corriente**



Fuente: Apparatus for Magnetization and Efficient Demagnetization of Soft Magnetic Materials [45]

### 3.2.2 circuito de desmagnetización

El circuito desmagnetizador produce un voltaje sinusoidal con amplitud linealmente decreciente, que se pasa a él circuito de corriente convertidor para generar la corriente de desmagnetización y unos pulsos de temporización de control del tiempo que tarda la corriente sinusoidal a la rampa hasta su valor máximo.

El circuito de desmagnetización se divide en 3 partes circuito generador de forma de onda sinusoidal, circuito generador de forma de onda de diente de sierra y circuito de lógica de control.

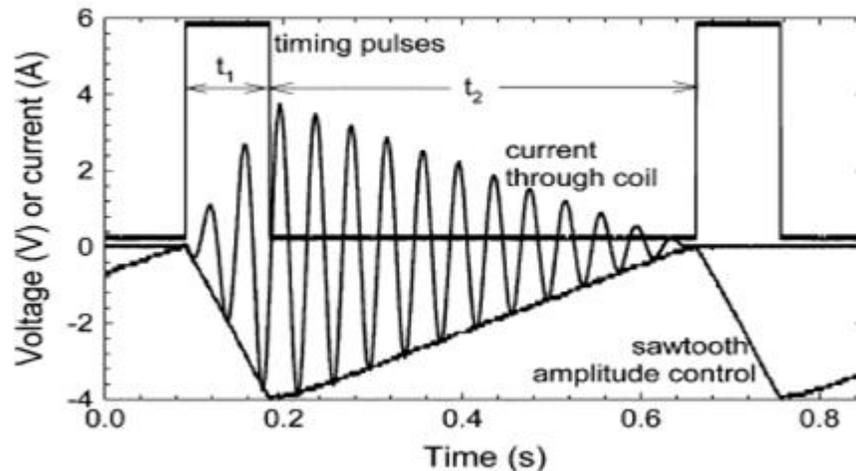
#### 3.2.2.1 circuito generador de forma de onda sinusoidal

Este circuito como su nombre lo indica es el encargado de crear una onda sinusoidal cuando se genera esta onda se disminuyen los armónicos de la onda de campo magnético que contiene el material a desmagnetizar, se necesita controlar tanto la amplitud como la frecuencia para poder mandarlas al circuito de corriente convertidor. Ver figura 34.

#### 3.2.2.2 circuito generador de forma de onda de diente de sierra

Este circuito como su nombre lo indica es el encargado de generar una onda de diente de sierra que se usa para controlar la amplitud de la forma de onda sinusoidal generada en el circuito general, el circuito también produce los impulsos de temporización que controlan la subida y bajada de la forma de onda de sí misma en la figura 34 se puede observar como controla la amplitud de la señal del circuito generador de onda senoidal en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

**Figura 34. Formas de onda en circuito de desmagnetización**



Fuente: Apparatus for Magnetization and Efficient Demagnetization of Soft Magnetic Materials [45]

### 3.2.2.3 circuitos de lógica de control

El control del circuito lógico se utiliza para permitir solamente un ciclo de la forma de onda de diente de sierra sinusoidal de amplitud controlada que se pasa en el circuito de corriente convertidor. Este circuito también permite la activación manual o automática de un ciclo de desmagnetización a través de un interruptor, o disparo automático cuando se aplica un pulso de voltaje compatible en el circuito. [45]

### 3.2.3 porque no se implemento este método

Este método no puede ser implementado por que la pieza a desmagnetizar es de mayor tamaño, lo que hace que para poder desmagnetizar se requiera mayor cantidad de corriente haciendo que cambie el diseño general del circuito en cuestión, esto con la pieza requiere una gran cantidad de cobre para poder generar un campo magnético menor de 1 tesla en cuya cuestión no podría saturar el mu metal, pero se podría modificar el circuito para que pueda obtener mayor corriente pero difícilmente mayor de 0.12 tesla.

# **4. CAPÍTULO**

## **PROCESOS EXPERIMENTALES Y**

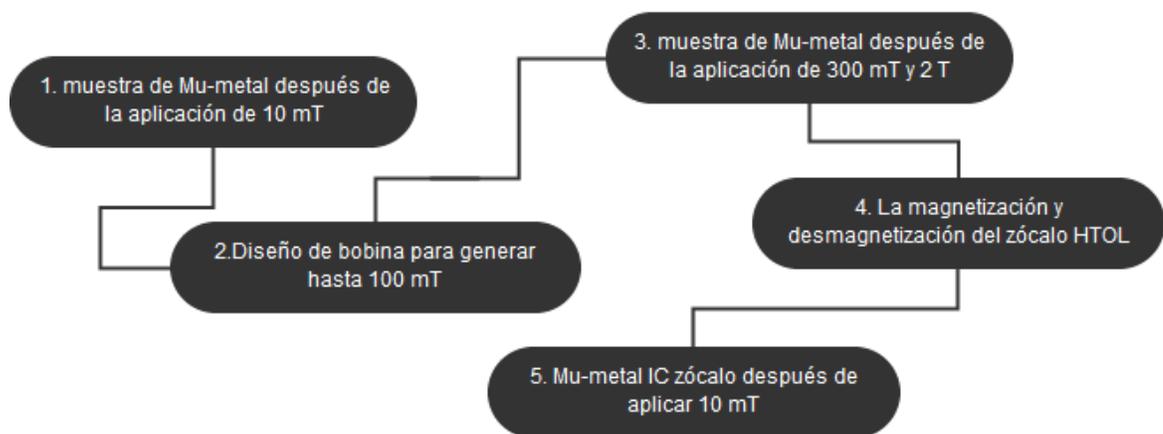
### **RESULTADOS**

En el presente capítulo mostrara los resultados y procesos experimentales sobre el método realizado en el proyecto para lograr el objetivo de la desmagnetización del sócalo utilizado en la protección del sensor magnético de corriente DRV421 y sensores afines durante el proceso de testeo en producción.

## 4.1 DESMAGNETIZACIÓN DE MU-METAL IC SOCKET

Método de saturación de la mu metal alineando sus dominios magnéticos y posteriormente aplicar un campo de corriente alterna hasta atenuar el magnetismo esto se hace con el fin de mirar si se puede saturar el mu metal y poder usar un campo de corriente alterna como método de desmagnetización fiable.

Figura 35. Diagrama de bloques desmagnetización de mu-metal IC socket



Fuente: Autor

Los pasos para la realización de los objetivos generales se describen a continuación, mirar figura 35 diagrama de bloques de desmagnetización de mu metal IC socket

La mu-metal socket utilizado para la prueba y validación de la válvula de flujo (fluxgate drv42x) está hecho para proteger también el chip del campo magnético externo no deseado. El material puede ser magnetizado y el objetivo es determinar cuánto se requiere del campo magnético para saturar el Mu-Metal e implementar un método para desmagnetizar el material.

El mu-metal es bien conocido como un material magnético blando con alta permeabilidad en promedio (50.000) ver tabla 1, los campos magnéticos que se pueden producir en la prueba de piso (también llamado efecto suelo en estadística) no son superiores a 1 mT (mili

tesla), el objetivo es demostrar que el Mu-metal puede mantener sus propiedades incluso después de haber sido expuestos a 10 mT.

## **4.2 EQUIPOS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS PARA LA PRÁCTICA**

Estos son unos de los equipos y dispositivos empleados para la pruebas de desmagnetización y saturación de la pieza de mu metal, implementados en la práctica durante la realización de este proyecto con el fin de obtener mediciones y corroboraciones de los procesos realizados. A continuación se explicaría con detalle los dispositivos más empleados, otros de los dispositivos implementados serán especificados en el transcurso de le presente trabajo y sus correspondientes mediciones en los anexos de este mismo.

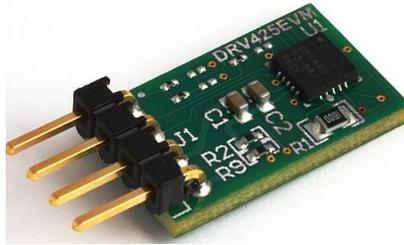
### **4.2.1 Sensores dvr425**

El DRV425 está diseñado para la detección de campos magnéticos en un solo eje y permite aislamiento eléctrico de alta sensibilidad, también permite precisión en las mediciones DC y AC de campo. El dispositivo proporciona al sensor un único y patentado, integrado de la válvula de flujo (IFG) con una bobina de compensación interna para soportar un rango de detección de alta precisión de  $\pm 2$  mT con un ancho de banda de medición de hasta 47 kHz.

El DRV425 ofrece un conjunto completo de características, incluyendo un amplificador interno diferencia, referencia de precisión en el chip, y funciones de diagnóstico para reducir al mínimo el número de componentes y el coste a nivel de sistema.

El bajo offset, compensación derivativa, y el sensor de ruido, combinado con el aumento de precisión, baja deriva de ganancia, y muy baja linealidad proporcionada por la bobina de compensación interna, dan como resultado una precisión de medición de campo magnético fiable, La salida de la DRV425 es una señal analógica proporcional al campo magnético detectado. [46] en la figura 36 se observa el aspecto físico de un sensor DRV425.

**Figura 36. Sensor DRV425**



Fuente: Dvr425 sensor datasheet [46]

### **Aplicaciones**

- Detección de posición lineal
- Detección de corriente en barras de bus
- Durante el rastreo detección de corriente
- Uso general de campo magnético Sensores
- Detección sobre corriente
- Fiabilidad Diagnóstico Motriz
- Frecuencia y el voltaje Inversores
- Inversores solares

### **4.2.2 AS541X hall sensor ic**

Es un sensor fabricado por fraunhofer (organización de investigación alemana que comprende 58 institutos esparcidos por toda Alemania, cada uno con una especialización en un campo diferente de las ciencias aplicadas) de efecto hall cuya función principal es medir los campos magnéticos presentes en el espectro circundante, en la práctica se utiliza para medir el campo magnético dentro del escudo mu metal.

### **4.2.3 bobina de helmholtz**

Una bobina de Helmholtz es un dispositivo para producir en una región un campo magnético uniforme, llamado así por el físico alemán Hermann von Helmholtz. Se compone de dos electroválvulas y electroimanes en el mismo eje. Además de crear campos magnéticos, las bobinas de Helmholtz también se utilizan en aparatos científicos para

cancelar los campos magnéticos externos, tales como el campo magnético de la Tierra [47]. Un par de Helmholtz consiste en dos bobinas idénticas circulares magnéticas (solenoides) que se colocan simétricamente a lo largo de un eje común, uno en cada lado del área experimental, y separados por una distancia  $h$  igual al radio  $R$  de la bobina. Cada bobina lleva una igual corriente eléctrica en la misma dirección.

#### **4.2.4 mag-03 sensor de campo magnético de tres ejes (bartington)**

Estos sensores ofrecen un excelente rendimiento de bajo ruido y estabilidad de la temperatura, y están diseñados para proporcionar mediciones de precisión de campos magnéticos estáticos y alternos en tres ejes. [48]

Este dispositivo se utilizó para medir el campo magnético dentro de la muestra de mu metal

### **4.3 MUESTRA DE MU-METAL DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE 10 MT**

El sensor Bartington y el DRV425 se utilizan para medir el campo magnético en la muestra Mu-metal, El campo magnético dentro de las bobinas se mide utilizando el sensor de IC AS541X.

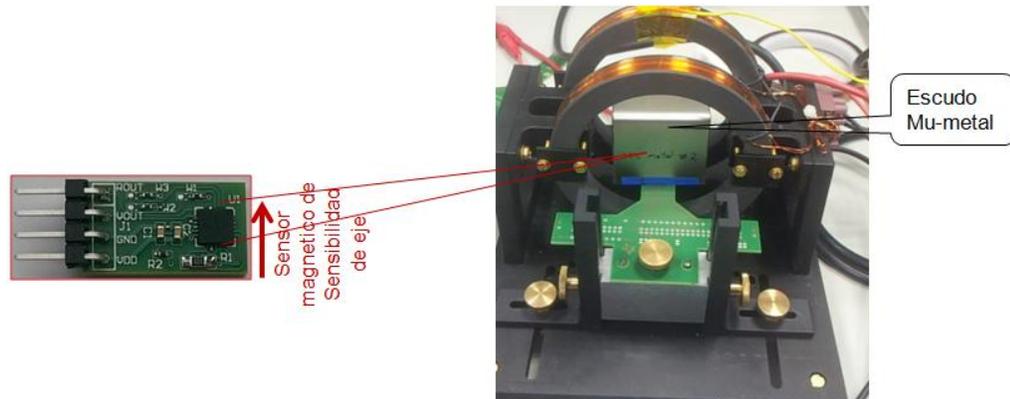
Las bobinas de Helmholtz se utilizan para generar el campo magnético y para determinar si está saturada la muestra, el campo magnético antes y después de blindaje se mide

La muestra de mu-metal se utiliza para saber cuánto campo magnético es requerido para saturar el mu-metal IC socket que es con el que se realiza la protección de los sensores de válvula de flujo drv42x, antes de implementar el método en práctica para la desmagnetización de este mismo.

Para empezar necesitamos aplicar un campo magnético de 10 mT a la muestra de mu-metal para verificar si este se satura y deja pasar algún flujo magnético dentro de esta misma.

En la figura 37 podemos ver el montaje del escudo mu metal dentro de la bobina de helmoz la cual en este caso genera 10 mT y dentro del escudo se encuentra el sensor DRV425.

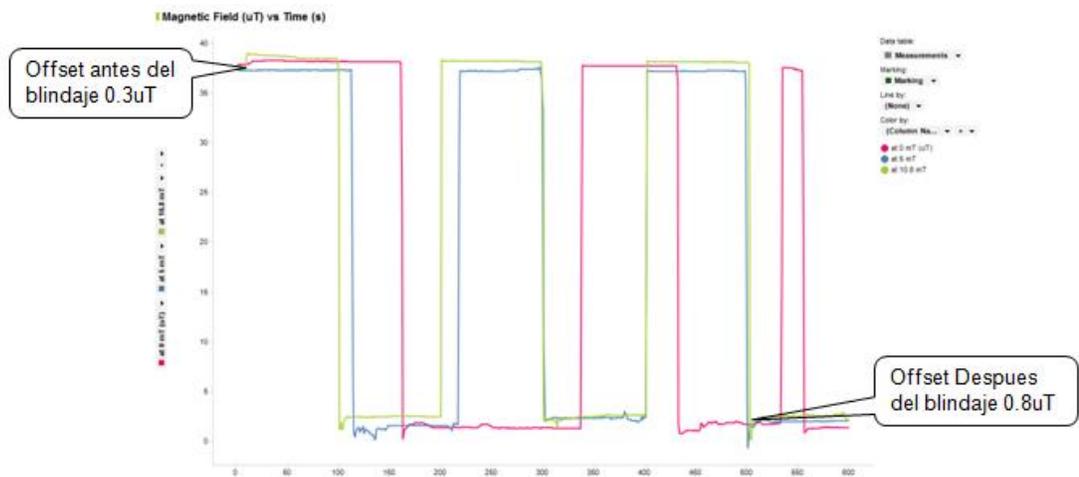
**Figura 37. Montaje de muestra aplicando 10 mT**



Fuente: Autor

Como resultado, después de exponer la muestra a 10 mT no hay ningún campo magnético que queda en el material y el campo magnético antes y después de blindaje sigue siendo el mismo, lo que significa que el escudo Mu-metal no pierde las propiedades de protección.

**Figura 38. Resultado después de aplicar 10mT**



Fuente: Autor

En la figura 38 podemos ver los resultados de las mediciones empleada con los sensores antes mencionados, siendo la grafica una relación entre el tiempo en segundos y el campo magnético en uT (micro tesla), el color rojo nos indica el valor de 0 mT el color azul es de 5 mT y finalmente el color verde nos indica 10.8 mT, con un tiempo estimado de 600 segundos, ver tabla de mediciones en anexo 1.

## 4.4 DISEÑO DE BOBINA PARA GENERAR HASTA 100 mT

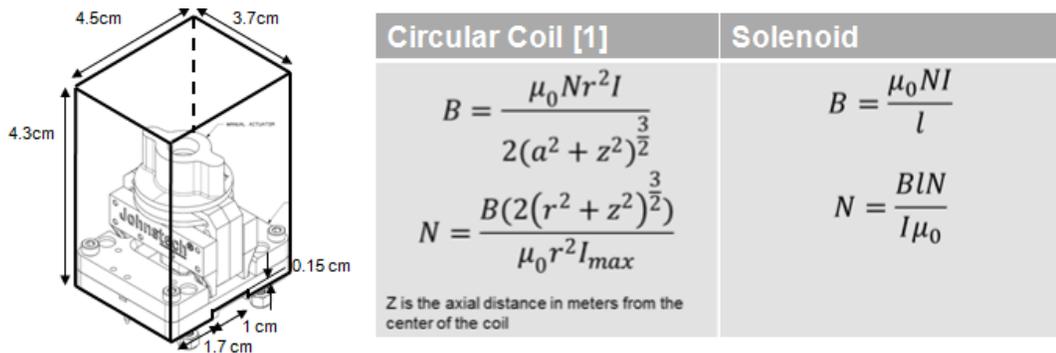
Se requieren altos campos magnéticos en el orden de 100 mT para saturar hasta magnetizar un escudo mu-metal, Estos cálculos y simulación establecerán las propiedades principales para desarrollar una bobina que puede generar 100 mT a una corriente de 2A DC y un voltaje de 21 V. a continuación se mostrara las ecuaciones para el diseño de la bobina con el software FEMM simulador.

Definición del tamaño de la bobina viene dado por el radio (r) y la longitud (lb) también por el número de vueltas de esta.

### Parámetros de entrada:

- tipo de bobina (solenoid, circular)
- la geometría de la bobina que cubre el escudo
- la geometría de la cavidad de prueba: radio (r) y la longitud de la bobina (IN), el campo magnético (B) corriente máxima (Imax)

**Figura 39. Cálculos para la bobina del socket**



Fuente: Autor

En la figura 39 se muestra las ecuaciones para la el diseño de la bobina que se pretende utilizar para el socket, ya sea de tipo circular o senoidal las cuales tienen sus propias características de costo y fabricación, también esta las medidas físicas para el desarrollo de la bobina en el cual se encontrara el socket para desmagnetizarlo.

#### 4.4.1 Determinación de los parámetros principales

Los parámetros de diseño presentes son en relación de las ecuaciones planteadas para el diseño de la bobina con el software FEMM simulador.

Resistencia del devanado: corriente máxima de 2A, un voltaje de 21V. Aplicando la ley de ohm  $R=V/I$ , la resistencia en el cable es de 10.5 ohm

Evaluación del tamaño del cable (área de alambre  $A_w$ )

$$R = \frac{\rho l_w}{A_w}; l_w = N(MLT) \quad (4.1)$$

$l_w$  es la longitud del alambre y  $MLT$  es la longitud media por vuelta de bobinado

$$R = \frac{\rho N(MLT)}{A_w}; MLT = \frac{\pi(d + D)}{2} \quad (4.2)$$

Número de arrollamiento ( $W_n$ ) y el espesor de la bobina es  $C_{th}$ :

$$W_n = \frac{d \cdot N}{l_b}; C_{th} = d * W_n \quad (4.3)$$

Longitud del cable ( $l_w$ ): una vez que el número de vueltas se conoce el siguiente paso es determinar la longitud del cable.

$$l_w = \sum_{n=1}^M l_b * \sqrt{(\pi * (2n - 1) + \frac{r}{r_w})^2 + 1} \quad (4.4)$$

$D$  es el diámetro de la bobina y  $d$  es el diámetro del embobinado. El uso de estas relaciones Elegido un diámetro del alambre y calcular el diámetro total de la bobina, la resistencia puede ser calculada para evaluar si se ajusta a los requisitos de resistencia.  $R$  es el radio de la bobina y  $r_w$  es el radio del alambre,  $M$  el número de devanado.

Una vez que se determina la longitud del hilo, la resistencia de la bobina se verifica y el costo se puede estimar.

#### 4.4.2 Resultado

Para poder realizar el diseño debemos mirar las diferencias que hay entre las dos tipos de bobina presentes en la tabla 3. La cual nos muestra las características principales de cada uno de los diseños

**Tabla 3. Diferencias entre bobina circular y una bobina solenoide**

<b>Bobina circular</b>	<b>solenoide corta</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere de alambre muy grueso para llenar el requisito de resistencia.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es posible sólo unas geometrías pequeñas (longitud inferior a 10 cm)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• número de vueltas y la longitud del cable es del orden de <math>10^3</math></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requisitos de alambre son factibles</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Longitudes superiores a 10 cm requiere de alambre muy grueso y kilómetros de cable para llenar el requisito de resistencia.</li></ul>

Fuente: Autor

Mirando la tabla 3 en cuanto a los diseños es más fiable realizar por beneficio de costos el boceto presente en la bobina de solenoide corta, la cual nos presenta requisitos de alambres más factibles y costos inferiores para el diseño, en cuanto a la bobina circular al requerir de alambre muy grueso para llenar el requisito de resistencia hace más costoso la realización de este diseño en la práctica, lo que hace descartar la posibilidad de la creación de esta.

De igual manera los cálculos de costo y valores de resistencia para diferente AWG (calibre de alambre estadounidense) en el diseño de la bobina circular se encuentran presente en los anexos del presente trabajo.

**Tabla 4. Características del solenoide**

Solenoide												
B (T)	Radio de la bobina (m)	Longitud solenoide (m)	N	Area del cable(m <sup>2</sup> )	longitud por vuelta enrollada (m)	Longitud de cable (m)	Resistencia (ohms) I max 2A	Resistencia	cable ohm/m disponible	Numero de enrollamiento	Espesor de la bobina (cm)	AWG
0.1	0.03	0.06	2,387	0.0000021	0.52061	1,197.86	9.93	10.30	0.00829	65	10.5	14
0.1	0.03	0.06	2,387	0.0000013	0.39651	937.41	12.37	12.46	0.0132	51	6.62	16
0.1	0.03	0.07	2,785	0.0000021	0.52061	1,396.63	11.58	12.02	0.00829	65	10.57	14
0.1	0.03	0.08	3,183	0.0000026	0.60711	1,896.19	12.46	12.72	0.00657	73	13.32	13
0.1	0.03	0.09	3,581	0.0000026	0.60711	2,133.21	14.02	14.31	0.00657	72	13.32	13
0.1	0.03	0.10	3,979	0.0000033	0.71381	2,671.94	13.92	14.79	0.00521	82	16.72	12
0.1	0.032	0.15	5,968	0.0000033	0.72637	4,007.91	20.88	22.58	0.00521	82	16.72	12
0.1	0.035	0.20	7,958	0.0000033	0.74522	5,343.88	27.84	30.89	0.00521	82	16.72	12
0.1	0.035	0.30	11,937	0.0000033	0.74522	8,015.82	41.76	46.33	0.00521	82	16.72	12

Fuente: Autor

La tabla 4 muestra los cálculos para la generación de 100 mT del solenoide con diferentes AWG (calibres de cable estadounidense) valores de radio, longitud del solenoide, número de espiras del solenoide, área del cable, longitud por vuelta enrollada, longitud de cable, resistencia, numero vueltas y espesor de la bobina.

**Tabla 5. Parámetros principales y costos del diseño**

B (T)	Radio de la bobina (m)	Longitud solenoide (m)	N	parametros principales					Costos de suministradores				
				Longitud cable (m)	Resistencia (ohms) I max 2A	Numero de vueltas	Espesor de la bobina (cm)	Peso (Kg)	AWG	Sauter	Digikey	Farnell	
0.1	0.03	0.06	2387	1197.9	9.93	65	10.571	19.01	14	€ 429.46	NA	NA	
0.1	0.03	0.06	2387	937.4	12.37	51	6.621	14.88	16	€ 226.83	€ 1,406.12	€ 490.97	
0.1	0.03	0.07	2785	1396.6	11.58	65	10.571	25.86	14	€ 500.72	€ 3,491.58	NA	
0.1	0.03	0.08	3183	1896.2	12.46	73	13.325	44.10	13	€ 878.42	NA	NA	
0.1	0.03	0.09	3581	2133.2	14.02	73	13.325	66.66	13	€ 988.22	NA	NA	
0.1	0.03	0.1	3979	2671.9	13.92	82	16.721	83.50	12	€ 1,539.04	NA	NA	
0.1	0.032	0.15	5968	4007.9	20.88	82	16.721	125.25	12	€ 2,308.56	NA	NA	
0.1	0.035	0.2	7958	5343.9	27.84	82	16.721	167.00	12	€ 3,078.08	NA	NA	
0.1	0.035	0.3	11937	8015.8	41.76	82	16.721	250.49	12	€ 4,617.11	NA	NA	

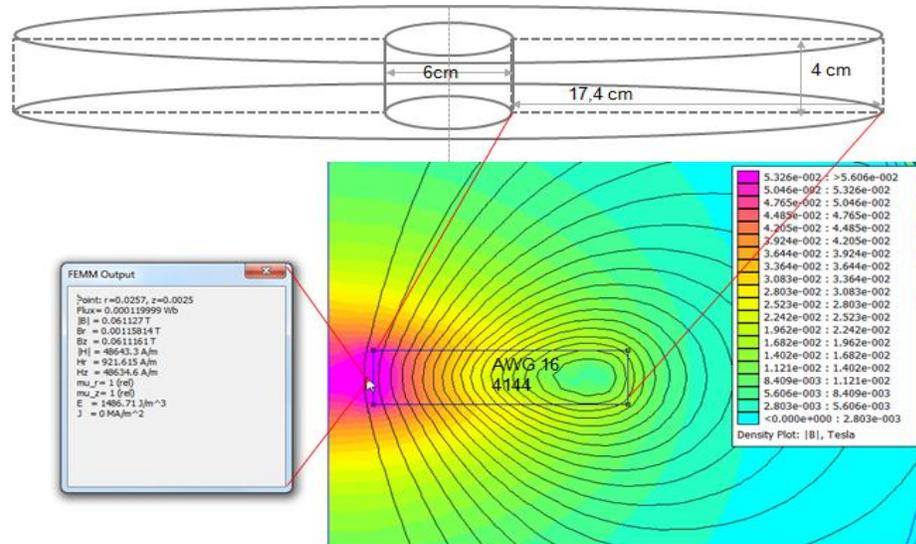
Fuente: Autor

La tabla 5 muestra la relación de costos para el diseño de la bobina solenoide corta con diferentes suministradores como lo son sauter, digikey y farnell basándonos en el peso, espesor, resistencia etc.

La geometría más rentable no garantiza la generación de 100 mT debido a la longitud de la bobina corta. Sin embargo geometrías superiores requieren un alambre más grueso que da un costo tan alto en la cuerda floja sin contar las horas de trabajo para la construcción de la bobina.

#### 4.4.3 Resultados: simulaciones de campo magnético

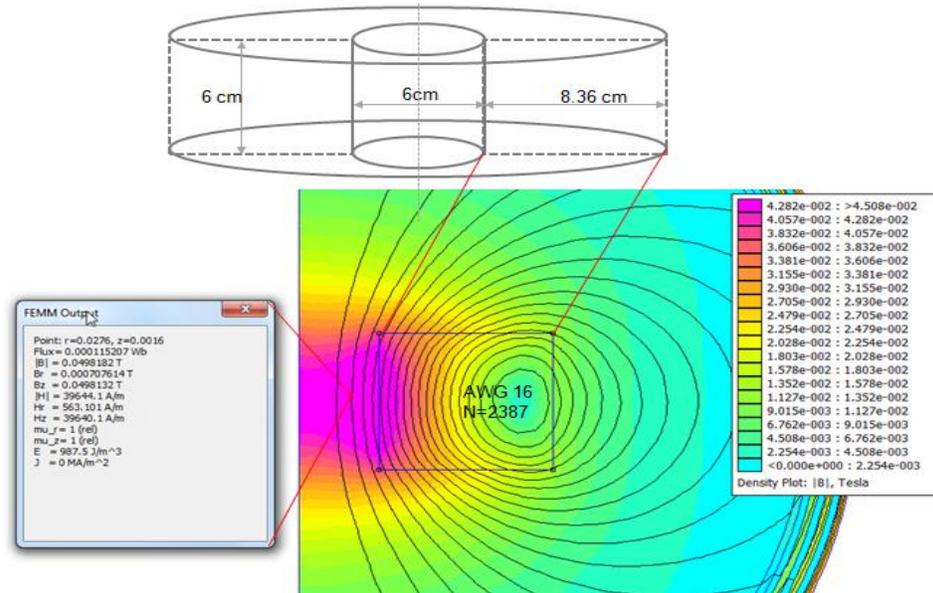
Figura 40. Diseño de la bobina 1 en FEMM



Fuente: Autor

El diseño de la figura 40 se realizó con el software de simulación FEMM (Finite Element Method Magnetics), es un software de elementos finitos cuya funcionalidad para el diseño nos muestra los aspectos de medición de campos magnéticos en la realidad, lo que es favorable ya que podemos saber que costos sobre materiales se necesitan y si es posible con los requisitos de corriente y voltaje poder llegar a las mediciones de campo magnéticos requeridos. En este caso podemos ver en la figura 40 que se trabajó con un AWG de 16 y se requirió un  $N=4144$  el radio del núcleo es de 3 cm y de la longitud de la bobina es de 17.4 cm como resultado mirando en la simulación se observa que el valor de campo magnético generado por este diseño es menor a los 100 mT

**Figura 41. Diseño de la bobina 2 en FEMM**



Fuente: Autor

El diseño de la figura 41 se realizó con el software de simulación FEMM (Finite Element Method Magnetics). En este caso podemos ver que se trabajó con un AWG de 16 y se requirió un  $N=2387$  el radio del núcleo es de 3 cm y de la longitud de la bobina es de 8.36 cm como resultado mirando en la simulación se observa que el valor de campo magnético generado por este diseño es menor a los 100 mT

Si la longitud de la bobina es menor de 10 veces el radio de la bobina la relación de campo magnético no tiene lugar, sin embargo a altas longitudes la cantidad y el grosor del cable es tremendo.

Las simulaciones se han hecho para probar si la bobina diseñada genera 100 mT, como resultado cualquier geometría da el esperado 100 Tm de densidad de campo magnético.

Se requiere una mayor fuente de corriente y voltaje para garantizar un diseño de bobina fiable

## 4.5 MUESTRA DE MU-METAL DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE 300 MT Y 2 T

Los experimentos se han llevado a cabo en los laboratorios de la FSU (Universidad Friedrich Schiller de Jena) y EAH (universidad de ciencias aplicada Ernst-Abbe-Hochschule Jena) utilizando en ambos casos el dispositivo para la generación al altos campos magnéticos como lo es el electroimán, cada dispositivo genera diferentes campos magnéticos ver figura 42.

**Figura 42. Dispositivo principal empleado (electroimán)**



Fuente: Autor

### 4.5.1 Electroimán en EAH inicial 300 mT

Se cree que altos campos magnéticos de hasta 200 mT se requieren para saturar hasta magnetizar un escudo Mu-Metal, este experimento tiene por objeto determinar la cantidad de campo magnético requerido para saturar un Mu-metal forzando los campos magnéticos en el orden de cientos milteselas.

Inicialmente es forzado el electroimán (de 0 a 10 A), el Campo magnético entre los imanes se mide usando un sonda Hall, el escudo es colocado entre los imanes en diferentes campos magnéticos, aumentando cada 2 A la corriente

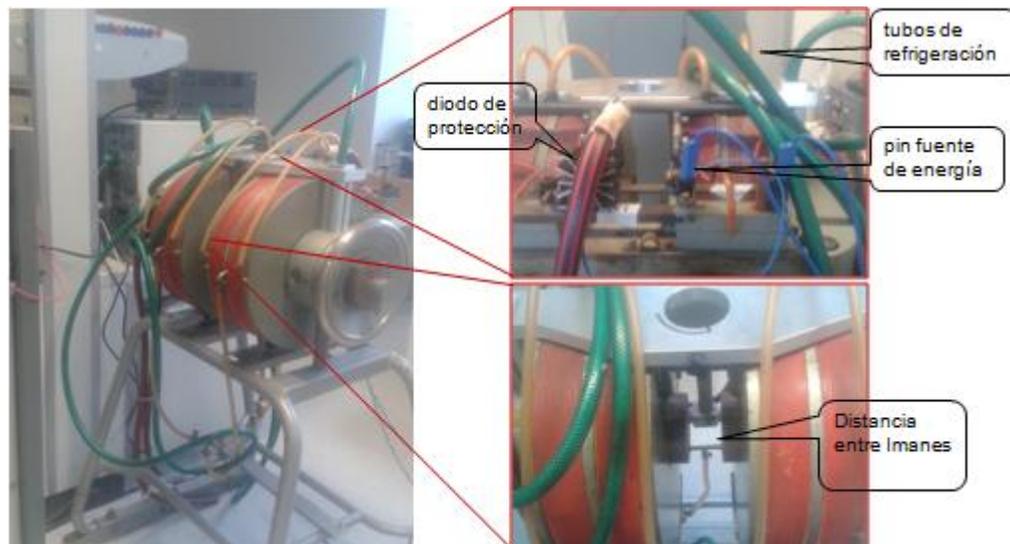
El campo magnético de la Tierra se mide utilizando el DRV425, el escudo se coloca y el campo magnético dentro del escudo se mide antes y después de exponer el blindaje de los campos externos, el campo magnético se incrementa hasta alcanzar el límite de fuente de

corriente (10A) y finalmente el experimento se repite hasta que la corriente este limitada y se evalúa el nivel de saturación del mu-metal.

#### 4.5.1.1 Electroimán y el campo magnético

A 0A el campo magnético entre los imanes es 2.8 mT, la distancia entre los imanes es de 7 cm.

**Figura 43. Montaje para aplicar 300 mT a la mu-metal**



Fuente: Autor

En la figura 43 se puede observar las principales características del electroimán esta configuración que se muestra es la necesaria para su correcto funcionamiento después de las conexiones se prosiguió con el suministro de corriente y voltaje.

Para la medición del campo magnético del electroimán se usa el sensor de sonda Hall con el rango más amplio, Este se calibra midiendo el campo magnético mediante la sonda hall AMS\_AS5410

##### 4.5.1.1.1 Sonda hall AMS\_AS5410

El AS5410 es un sensor de posición absoluta para los movimientos lineales. Para medir una larga distancia (+/- 25 mm) con un gran espacio de aire (~ 10 mm) una tecnología de sensor magnético sin contacto es usada para medir la posición absoluta del movimiento, se requiere un simple imán de 2 polos. La información absoluta de la posición del imán se

mide con una resolución de 14 bits y se proporciona el valor digital a través de la interfaz en serie (SPI) y la señal de salida PWM. [49]

#### 4.5.1.1 Electroimán y el campo magnético

**Figura 44. Montaje para aplicar 300 mT conexión de fuente**



Fuente: Autor

En la figura 44 se observa el montaje para aplicar 300 mT y la conexión de la fuente la cual suministra un voltaje de 25 V y una corriente de 10 A Max, la corriente fue aumentando gradualmente (0 a 10 A) y midiéndose el campo magnético con el sensor AMS\_AS5410 como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6. Mediciones usando el sensor AMS\_AS5410**

corriente aplicada al iman I[A]	B medido por AMS_AS5410 hall sensor [mT]	V output de la gama mas alta de Hall sensor [mV]
0	3	8
2	63	10.7
4	130	13.3
6	Saturated	16
8	Saturated	18.5
10	Saturated	21

Fuente: Autor

La sonda Hall con una gama más amplia muestra un comportamiento lineal, esto permite determinar el campo magnético, en la relación abajo ecuación 4.5 donde  $B_{s2}$  es el campo de salida de la sonda Hall,  $V_{s2}$  es la tensión de salida de la sonda Hall y  $B_{s1}$  es el campo magnético medido por el sensor Hall AS5410.

$$B_{s2i} = \frac{v_{s2f} - v_{s2i}}{(v_{s2f} - v_{s2i}) * (B_{s1f} - B_{s1i})} + B_{s1i} \quad (4.5)$$

**Tabla 7. Mediciones usando el sensor AMS\_AS5410 con gama más alta**

Corrientes aplicadas al iman[A]	B medido por AMS_AS5410 hall sensor [mT]	V output de la gama mas amplia Hall sensor [mV]	B output de la gama mas amplia Hall sensor [mT]
0	3	8	3
2	63	10.7	63
4	130	13.3	120.7777778
6	Saturated	16	180.7777778
8	Saturated	18.5	236.3333333
10	Saturated	21	291.8888889

Fuente: Autor

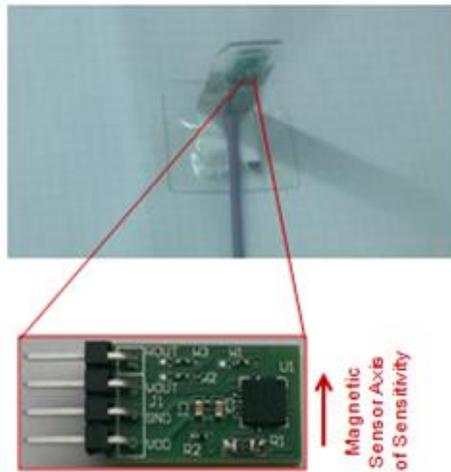
Mediante el uso de la fuente de alimentación inicial, el máximo campo que puede ser generada es de 300 mT.

#### **4.5.1.2 Configuración de medición - Campo magnético en el interior escudo de metal-Mu**

La principal configuración para la medición con el sensor DRV425 es colocarla en una posición que se mantenga como el centro en el interior del escudo.

Para medir un campo magnético más alto el sensor se coloca horizontalmente con el eje x, entonces el campo magnético puede ser medido a través del eje y, como se ve en la figura 45, esta configuración es la más recomendada.

**Figura 45. Posición del Sensor DRV425**



**Tabla 8. medicion usando el sensor DRV425**

Corriente aplicada al iman I[A]	Boutput de la gama mas amplia de Hall sensor [mT]	Vout DRV425 [mv]	Bout DRV425 [mT]
0	3	20	0.018477
0	3	8.2	0.007576

Fuente: Autor

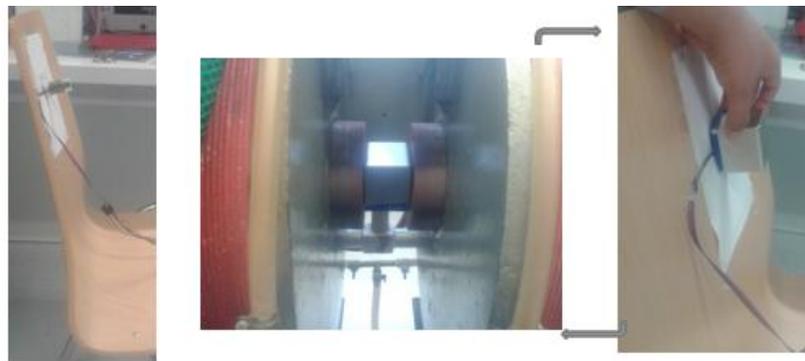
Fuente: Autor

El campo magnético antes de colocar el escudo se mide [0.0184mT], y después de colocar el escudo de la manera que cubra el sensor de DRV [0.0075mT], como se observa en la tabla 8.

El escudo todavía no ha sido expuesto a un campo magnético externo.

Se coloca el escudo entre los imanes, y es expuesto a un campo magnético durante 15 segundos, a continuación, se coloca en la configuración de medición que cubre el DRV425, como se observa en la figura 46 entonces podemos medir el campo magnético. Este proceder se repite en pasos de 60mT hasta llegar a los 300 mT.

**Figura 46. Configuración de montaje con la muestra de mu metal**



Fuente: Autor

Después de aplicar 300 mT de campo magnético externo al escudo Mu-metales, no ha sido saturada hasta la magnetización. El campo magnético después de blindaje se mantiene en la misma gama sin un incremento, el escudo no muestra ningún campo magnético después de ser medido directamente con el sensor DRV425.

**Tabla 9. Mediciones**

	Corrientes aplicadas al iman[A]	B medido por AMS_AS5410 hall sensor [mT]	V output de la gama mas amplia Hall sensor [mV]	B output de la gama mas amplia Hall sensor [mT]	V out DRV425 [mv]	B out DRV425[m T]
Antes del blindaje	0	3	8	3.00	20	0.018477
Despues del blindaje	0	3	8	3.00	8.2	0.007576
Despues del blindaje	2	63	10.7	63.00	8.1	0.007483
Despues del blindaje	4	130	13.3	120.78	8	0.007391
Despues del blindaje	6	Saturatedo	16	180.78	7.9	0.007299
Despues del blindaje	8	Saturatedo	18.5	236.33	7.8	0.007206
Despues del blindaje	10	Saturatedo	21	291.89	7.6	0.007021

Fuente: Autor

Se requiere un campo mayo que 300 mT para saturar el Mu-metal y poder magnetizarlo.

#### 4.5.1.3 Como llegar a campos más altos

Los electroimanes disponibles en la universidad pueden generar hasta 1 Tesla pero se necesita más potencia. Una fuente de alimentación que puede generar unos 60 A y 125 V se encuentra disponible en el laboratorio, pero se requiere un manual antes de trabajar en él. Por desgracia no hay manual en el laboratorio, sin embargo se ha solicitado al fabricante, obsérvese la figura 46.

**Figura 47. Fuente capaz de generar 60 A Y 125 V**



Fuente: Autor

## 4.5.2 Electroimán en FSU

La Universidad FSU (Universidad Friedrich Schiller de Jena) Jena tiene dos imanes para los laboratorios de física. Este imán puede generar 3,5 Tesla a una distancia de 1 cm entre los imanes. Después de visitar las instalaciones y discutir con la persona responsable la Dr. Katherine Schreyer acepto prestarnos los equipos para realizar nuestras mediciones, el campo magnético se ha medido a una distancia de 5 cm, dio como resultado 700 mT con una fuente de alimentación que da 10 A. Se pueden conseguir mayores campos magnéticos pero el Dr. Schrezer tiene que discutir esta posibilidad con su equipo, ver figura 48.

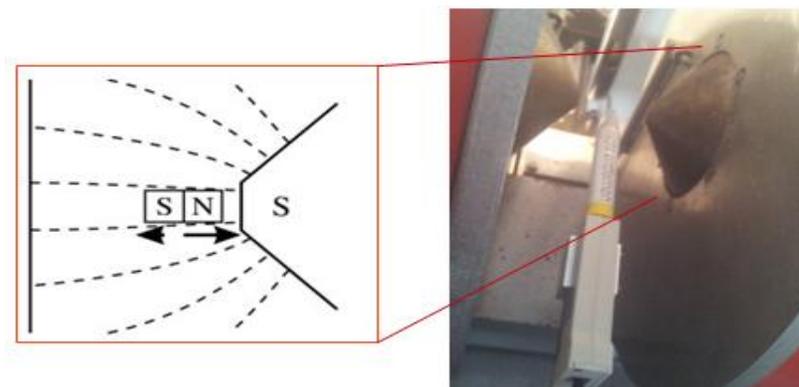
**Figura 48. Electroimán en FSU**



Fuente: Autor

La geometría de los imanes disponibles en FSU es cónica. El campo generado se distribuye como se observa en la figura 49.

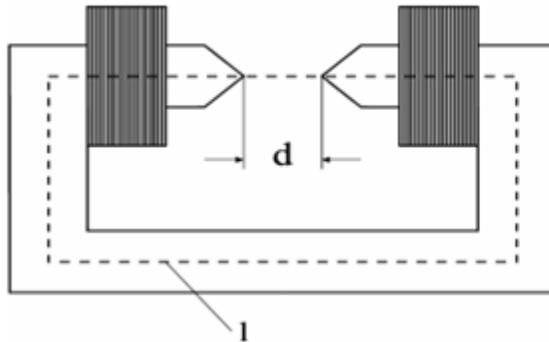
**Figura 49. Geometría del electroimán en FSU**



Fuente: Autor

La intensidad de campo magnético H se puede determinar lo que permite representar la curva de histéresis durante el proceso de saturación del escudo Mu-metal.

**Figura 50. Circuito magnético del electroimán**



$$|H(\text{entrehierro})| = \frac{N * lb}{d + 1/U_r} \quad (4.6)$$

Fuente: Autor

En la figura 50 podemos ver la presentación del flujo de corriente presente en el electroimán y la ecuación de la intensidad del campo magnético ecuación 4.6 la cual nos sirve para representar la curva de histéresis.

En el laboratorio hay también un magnetómetro que puede medir hasta 4 T, las instalaciones se pueden utilizar pero necesitan una aprobación para que se permita hacer los experimentos allí. Se estima que dentro de las próximas semanas se pueden comenzar los experimentos.

**Figura 51. Magnetómetro Koshava 5**



Fuente: Autor

En la Figura 50 se puede observar los dispositivos que se pueden emplear en el laboratorio de la FSU el electroimán y Magnetómetro Koshava 5

### 4.5.2.1 Descripción del experimento

En los electroimanes de la FSU, Inicialmente es forzada una corriente al electroimán de (0 a 10.5 A). El campo magnético entre los imanes se mide usando un magnetómetro Koshova. A continuación, se coloca el protector entre los imanes en diferentes campos magnéticos, desde 5 A aumentando cada 1 A la corriente

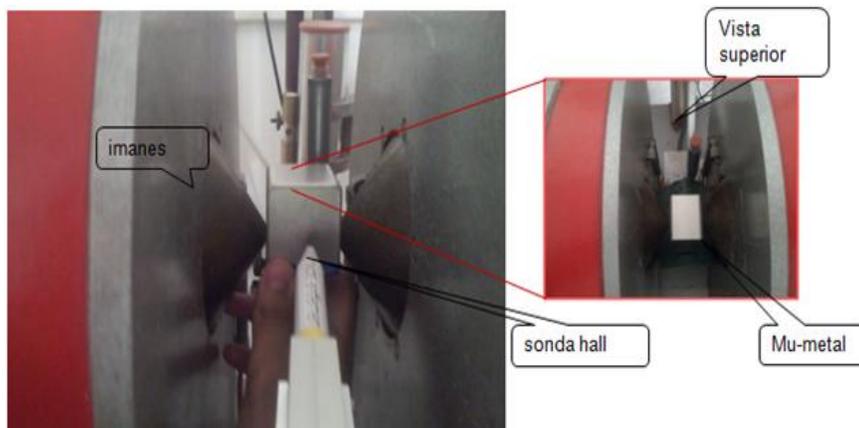
Cada vez que el escudo está expuesto al campo magnético externo, el campo magnético de la tierra se mide utilizando el DRV425, el escudo es colocado y el campo magnético dentro del escudo es entonces medido respectivamente para evaluar la saturación de este.

El campo magnético se incrementa hasta alcanzar el límite de fuente de corriente (10,5 A) La muestra se hace girar para obtener campos más altos y el experimento se repite.

### 4.5.2.2 Electroimán y el campo magnético

A 0 Amperios el campo magnético entre los imanes es 1 mT, la distancia entre los imanes es de 4,3 cm, El magnetómetro Koshava 5 medidas hasta 4 T, el campo magnético más alto que se pueden generar utilizando esta configuración a una distancia de 4,3 cm es de 620 mT, en la figura 52 como se puede observar se realizaron mediciones con el magnetómetro y la configuración de distancia al ancho de la muestra de mu metal, los valores de campo magnéticos a diferentes corrientes se encuentra en la tabla 10.

**Figura 52. Configuración a una distancia de 4.3 cm en FSU**



**Tabla 10. Mediciones a 4.3 cm**

I [A]	B [T]
0	0
1	0.056
2	0.11
3	0.116
4	0.218
5	0.274
6	0.342
7	0.408
8	0.472
9	0.564
10	0.588
10.5	0.620

Fuente: Autor

Fuente: Autor

### 4.5.2.3 Configuración de medición - Campo magnético en el interior escudo de metal-Mu

Para medir el campo magnético antes y después de blindaje, la DRV425 se coloca 1,4 m paralelo al suelo. El escudo de mu metal ha sido expuesto al campo externo en la misma posición y las mediciones se han realizado mediante la rotación del escudo de cara A a cara D.

**Tabla 11. Mediciones con el sensor DRV425 rotando el escudo**

Distancia entre los imanes 4,3 cm		Antes del blindaje (mV)	Antes del blindaje (mT)	Despues del blindaje Face A	Despues del blindaje Face B	Despues del blindaje Face C	Despues del blindaje Face D
I[A]	B [T]	B [mV]	B [mT]	V[mT]	V[mT]	V[mT]	V[mT]
0	0	41.6	0.038433	0.0019	0.00231	0.001848	0.001478

Fuente: Autor

El campo magnético antes de colocar el escudo se mide [0.0384mT], y después de colocar el protector en cada cara (que se cambian girando el escudo alrededor del mismo eje). El campo magnético se mide después de colocar el escudo en cada una de las caras de manera que cubra el sensor DRV425, en A [0.0019mT], en la cara B [0.00231mT], en cara C [0.00184mT] y la cara D [0.00147].el escudo todavía no ha sido expuesto a un campo magnético externo.

Se coloca el escudo entre los imanes, y está expuesto a un campo magnético durante 50 segundos ver figura 53, a continuación, se coloca en la configuración de medición que cubre el DRV425, se mide el campo magnético. Este proceder se repite en pasos de 100 mT hasta llegar a 620 mT.

**Figura 53. Configuración de medición que cubre el DVR425**



Fuente: Autor

Después de aplicar 620 mT de campo magnético externo al escudo Mu-metal, no ha sido suficiente para saturar el escudo. El campo magnético después de blindaje se mantiene en la misma gama sin un incremento, el escudo no muestra ningún campo magnético después de medir el escudo directamente con el sensor DRV425.

**Tabla 12. Mediciones con el sensor DRV425**

Distancia entre los imanes 4,3 cm		Antes del blindaje (mV)	Antes del blindaje (mT)	Después del blindaje Face A	Después del blindaje Face B	Después del blindaje Face C	Después del blindaje Face D
I[A]	B [T]	B [mV]	B [mT]	V[mT]	V[mT]	V[mT]	V[mT]
7	0.408	41.6	0.038433	0.0019	0.00231	0.001848	0.001478
8	0.472	42.1	0.038895	0.0022	0.002494	0.00194	0.001478
9	0.564	42.1	0.038895	0.0022	0.002494	0.00194	0.001478
10	0.588	42.3	0.039080	0.0022	0.002494	0.00194	0.001571
10.5	0.620	42.3	0.039080	0.0022	0.002494	0.00194	0.001478

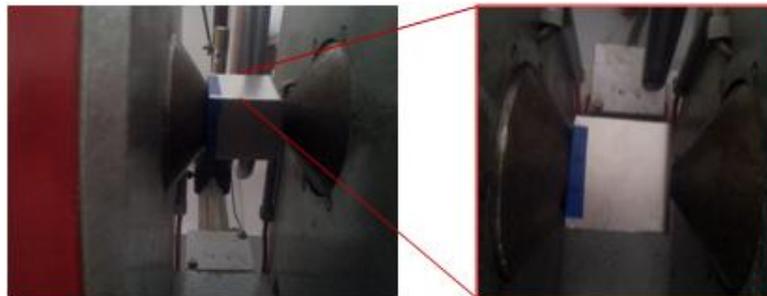
Fuente: Autor

Se requiere un campo externo mayor 620 mT para saturar el Mu-metal

#### 4.5.2.4 Medidas alternativas

Campos mas altos se pueden conseguir a distancias más cortas, para ello, la muestra se ha hecho girar de la manera que uno de los imanes cónicos penetra la cara abierta del escudo ver figura 54. Cuando la muestra se coloca de esta manera la distancia entre los imanes es de 3,5 cm y el campo más alto generado es 716 mT.

**Figura 54. Configuración con la cara abierta de la mu metal**



Fuente: Autor

Sin embargo 716 mT no es lo suficientemente fuerte como para saturar el escudo.

Para saber cuál es el campo magnético máximo se requiere una considerable distancia de 0,5 mm ver figura 55. El campo magnético se mide a una distancia tal que el campo magnético más alto generado después de forzar una corriente de 10,5 A es 2,53 T. No obstante se requiere una muestra más pequeña para poder llegar a este valor.

**Figura 55. Configuración a una distancia de 0.5 mm**



Fuente: Autor

Al utilizar el electroimán de la Universidad Friedrich Schiller FSU, el escudo Mu-metal ha sido inicialmente expuesto a un campo externo de 620 mT durante 30 segundos sin afectar a su permeabilidad y sin producir un efecto de saturación. Después de cambiar la posición del escudo de mu metal se genera un campo superior 716 mT. Este campo magnético no causó la saturación. Se requiere una muestra más pequeña para generar campos más altos

### **4.5.3 Principal limitación**

De acuerdo con la anterior presentación el electroimán disponible en la EAH Jena puede generar hasta 1 T mediante el uso de una fuente de alimentación que puede dar más de 20 A. El primer límite ha sido la ausencia de un manual. Después de unas semanas el manual ha sido proporcionado por el fabricante Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf anteriormente ZFK.

En el momento de encender la fuente, el circuito breakers de la alimentación MSV 4495 llego a sus límites. La corriente se corta y la fuente de alimentación no puede ser alimentada. Esto sucede porque los circuitos breakers del laboratorio son unos tres polos de disparo B con una corriente nominal de 16A. Se requiere una mayor corriente del disparo C para activar la fuente de alimentación.

La instalación de un nuevo interruptor requiere de un tiempo en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Jena. Una cita con el conserje y el electricista ha sido pedida. A pesar de las limitaciones, alternativas y nuevas soluciones ha sido objeto de búsqueda para la correcta realización de esta práctica.

**Figura 56. Fuente de alimentacion y circuito breakers**



Fuente: Autor

#### **4.5.4 Electroimán en EAH**

Después de los inconvenientes planteados anteriormente se pudo realizar el experimento en la universidad EAH (universidad de ciencias aplicada Ernst-Abbe-Hochschule Jena) se instaló el interruptor que requería mayor corriente de disparo para poder trabajar.

En los electroimanes de la EAH, inicialmente es forzada una corriente al electroimán de (0 a 60 A). El campo magnético entre los imanes se mide utilizando una sonda de Hall. A continuación, se coloca el protector entre los imanes en diferentes campos magnéticos, a partir de 10 A, se aumenta la corriente cada 5 A hasta alcanzar el límite de 60 A.

Cada vez que el escudo está expuesto al campo magnético externo, el campo magnético de la tierra se mide utilizando el DRV425, el escudo es colocado y el campo magnético dentro del escudo es entonces medido respectivamente para evaluar la saturación de este.

La muestra se hace girar para obtener campos superiores y para evaluar la influencia de la dirección en el campo magnético generado

A 0 Amperios el campo magnético entre los imanes es 3 mT, la distancia entre los imanes es de 4,3 cm y la fuente tiene una capacidad de 60A a 125 v las características de la fuente de voltaje utilizada fueron revisadas en el manual de MSV 4495 para su mejor entendimiento.

**Figura 57. Configuración a una distancia de 4.3 cm en EAH**



Fuente: Autor

En la figura 57 se observa la configuración para la muestra a una distancia de 4.3cm conectada a la fuente que puede generar hasta 60A de corriente, suficiente para aumentar el campo magnético del electroimán a más de 1T.

La sonda Hall desarrollado en las medidas de TI(Texas instrument) hasta 1 T, a pesar de los campos magnéticos más altos no se puede medir, de acuerdo con estimaciones del campo magnético más alto que se puede generar con esta configuración, después de obligar a 60 A a una distancia de 4,3 cm entre los imanes es 2 T

**Figura 58. Configuración a una distancia de 4.3 cm**



**Tabla 13. Campo magnéticos a 60A**

I[A]	B [mT]
0	3
2	63
4	130
6	180
8	236
10	292
15	462
20	632
25	802
25	972
30	1142
35	1312
40	1482
45	1652
50	1822
55	1992
60	2026

Fuente: Autor

Fuente: Autor

En la figura 58 podemos observar la configuración medida de la muestra aplicando un suministro de corriente de 2A a una distancia de 4.3 cm entre los imanes también observamos la tabla 13 los valores máximo de campos magnéticos generado por los imanes a 60A es de 2.026T.

#### 4.5.4.1 Configuración de medición - Campo magnético en el interior escudo de metal-Mu

Para medir el campo magnético antes y después de blindaje, la DRV425 se coloca a 1,2 m paralelo al suelo como se observa en la figura 59. El escudo de metal Mu ha sido expuesto al campo externo en la misma posición y las mediciones se han realizado mediante la rotación del escudo de la cara A a cara D. como se ven en la tabla 14.

**Figura 59. Sensor DRV425 a 1.2 m paralelo al suelo**



**Tabla 14. Mediciones con el sensor DRV425 rotando el escudo**

Distancia entre los imanes 4,3 cm		Antes del blindaje	Antes del blindaje	Despues del blindaje Face A	Despues del blindaje Face B	Despues del blindaje Face C	Despues del blindaje Face D
I [A]	B [T]	B [mV]	B [mT]	V [mT]	V [mT]	V [mT]	V [mT]
0	0	480.044346	0.0012	0.0013	0.0012	0.0011	0.0011

Fuente: Autor

La configuración para poder realizar la medición en el escudo mu metal se realiza colocando El escudo Mu-metal entre los imanes, y este es expuesto a un campo magnético durante 30 segundos, a continuación, se coloca en la configuración de medición en el que el escudo cubre el DRV425, se mide el campo magnético. Este proceder se repite en pasos de 200 mT hasta que se alcanza 2 T.

Esto con el fin de mirar las mediciones y verificar si se está saturando la mu metal y se encuentra una medición diferente en el sensor dvr425.

**Figura 60. Toma de datos de la muestra**



Fuente: Autor

En la figura 60 se observa la toma de mediciones con el sensor dvr425 dentro de la muestra de mu metal cuando se le aplica desde 0 a 2T con el electroimán y el proceso de repetir el paso como se señala en la misma después de cada aplicación de campo magnético.

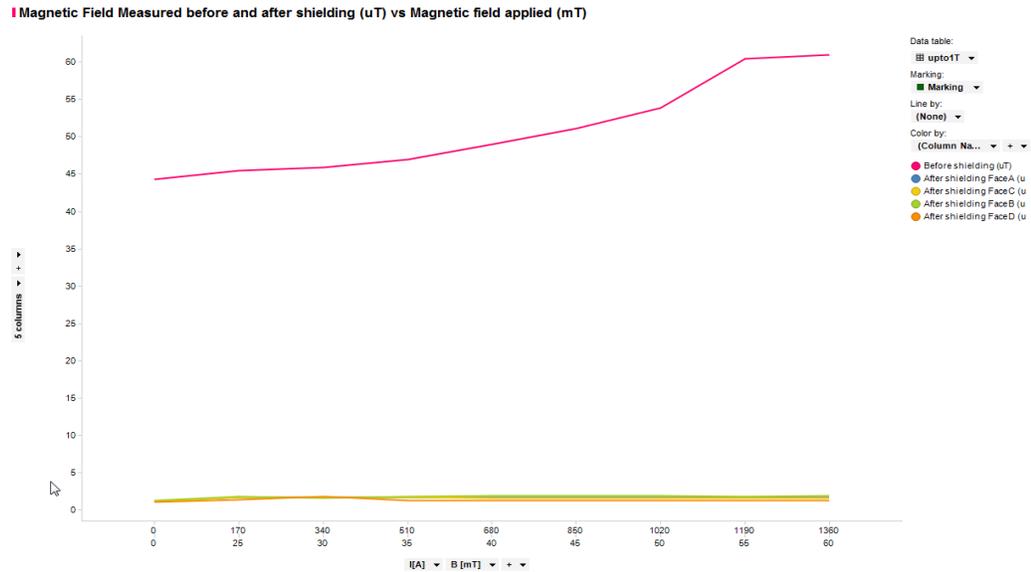
La aplicación de 2 T de campo magnético externo al escudo Mu-metal no satura hasta magnetizar la muestra. El campo magnético medido después de blindaje no muestra ningún incremento significativo, al observar tabla 15 los valores no muestran un cambio significativo en la medición de la muestra.

**Tabla 15. Mediciones de la muestra expuesta hasta llegar a 2T**

Distancia entre los imanes 4,3 cm		Antes del blindaje (mV)	Antes del blindaje (mT)	Despues del blindaje Face A	Despues del blindaje Face B	Despues del blindaje Face C	Despues del blindaje Face D
I[A]	B[T]	B[mV]	B[mT]	V[mT]	V[mT]	V[mT]	V[mT]
0	0	48	0.044346	0.0012	0.0013	0.0012	0.0011
25	170	49.2	0.045455	0.0017	0.0018	0.0017	0.0014
30	340	49.7	0.045916	0.0017	0.0016	0.0017	0.0018
35	510	50.8	0.046933	0.0017	0.0018	0.0017	0.0013
40	680	53	0.048965	0.0017	0.0019	0.0016	0.0013
45	850	55.3	0.05109	0.0017	0.0019	0.0016	0.0013
50	1020	58.3	0.053862	0.0017	0.0019	0.0016	0.0013
55	1190	65.4	0.060421	0.0017	0.0018	0.0016	0.0013
60	1360	66	0.060976	0.0017	0.0019	0.0016	0.0013

Fuente: Autor

**Figura 61. Campo magnético medido antes y después de blindaje vs aplicado**



Fuente: Autor

En la figura 61 se observa al comparación que hay entre las mediciones de la tabla 15 en función de la corriente y el campo magnético aplicado siendo la línea de color rojo el comportamiento antes de ser expuesto al campo magnético y las líneas de abajo después de aplicar el campo magnético en ninguna se ve que la muestra de mu metal este saturada y haya perdido sus propiedades de protección.

Las mediciones empleadas en esta práctica demuestran que se requiere campos mayores para poder saturar la pieza en cuestión.

Un campo externo mayor de 2 T se requiere para saturar la Mu-metal

Mediante el uso de los imanes disponibles en el Ernst Abbe Hochschule Jena, el campo externo máximo aplicado ha sido de 2 T, por desgracia tan alto campo no causó la saturación del escudo Mu-metal. Los campos que se requieren son mayores a 2 Tesla, una muestra más pequeña se puede utilizar, como muestra para analizar se puede usar los imanes disponibles y un permagraph para medir la curva de histéresis.

## 4.6 LA MAGNETIZACIÓN Y DESMAGNETIZACIÓN DEL ZÓCALO HTOL

Se requiere un nuevo método para detectar la presencia de un campo magnético remanente para evaluar la señal de desmagnetización bajo campos magnéticos bajos ( $<10\text{mT}$ ).

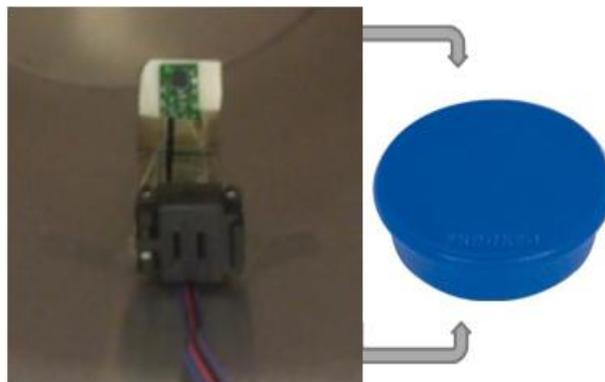
Como alternativa a la muestra de escudo Mu-metal. Un socket HTOL de otros materiales se puede utilizar para llegar a un campo remanente que puede ser desmagnetizado mediante el uso de las bobinas de Helmholtz disponibles en el laboratorio.

La señal de desmagnetización se genera mediante el uso de las bobinas de Helmholtz y una corriente alterna que resulta de las curvas de barrido de programación en la fuente de corriente Keithley 2636A

El zócalo HTOL que es una prueba de esfuerzo, se define por JEDEC para definir la fiabilidad de los productos IC, y es una parte esencial de las pruebas de calificación de chips. Este puesto proporciona una descripción de alto nivel de HTOL. Para predecir la fiabilidad y la vida útil de los productos IC, JEDEC ha definido una prueba de esfuerzo que expone la IC a condiciones extremas de temperatura. Los resultados del ensayo se utilizan entonces para predecir la tasa de fracaso a largo plazo de la IC. [50]

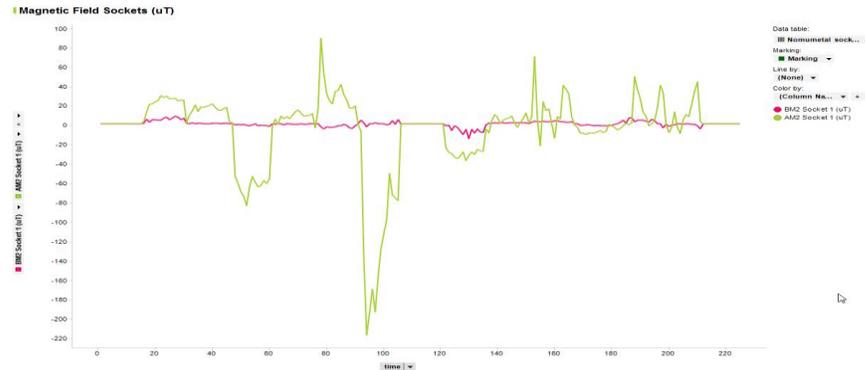
Inicialmente, el campo magnético en el zócalo HTOL (Vida de funcionamiento de alta temperatura) se mide, a continuación, el conector está expuesto a un campo magnético externo procedente de un imán ver figura 62, este campo magnético es aproximadamente de  $40\text{ mT}$  a una distancia de  $0.5\text{ cm}$ , el campo magnético se mide de nuevo para ver si hay un campo magnético remanente en el zócalo.

**Figura 62. Campo magnético en el zócalo HTOL**



Fuente: Autor

**Figura 63. Campo magnético del sockets**

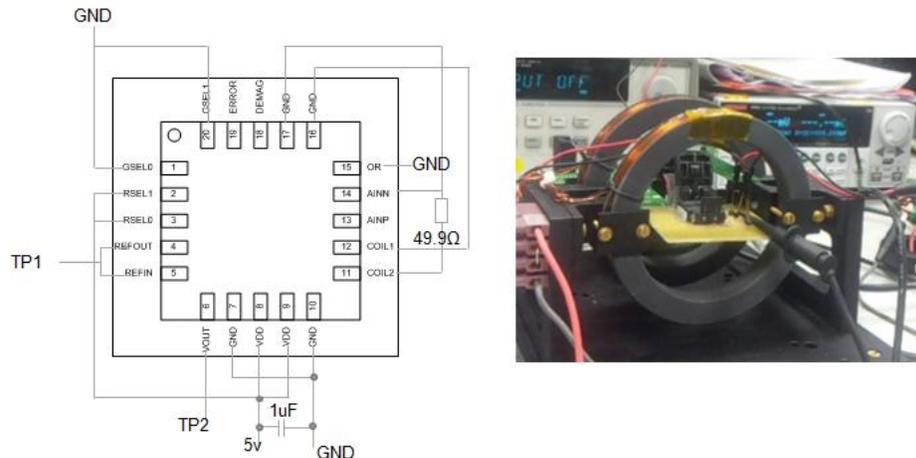


Fuente: Autor

En la figura 63 esta la representación de los resultados de la medición del zócalo HTOL, los valores de campo magnético en función del tiempo, estos valores están en uT siendo el color rojo BM2 (antes del campo magnético) y el color verde AM2 (después del campo magnético) los datos tomados de los campos magnéticos de estas medidas se encuentran en los anexos del presente trabajo, vemos que antes de aplicarle un campo magnético el campo magnético en el material es casi nulo pero después de aplicarlo al zócalo HTOL hay un campo magnético remante.

El zócalo HTOL retiene el campo magnético después de haber sido expuesto a un campo externo. El campo magnético se mide mediante el uso de el micro close loop DRV421, ver diagrama de montaje en la figura 64 y mediciones de cada una de las salidas de este en los anexos del presente trabajo.

**Figura 64. Montaje del circuito con el zócalo HTOL en una bobina de helmholtz**

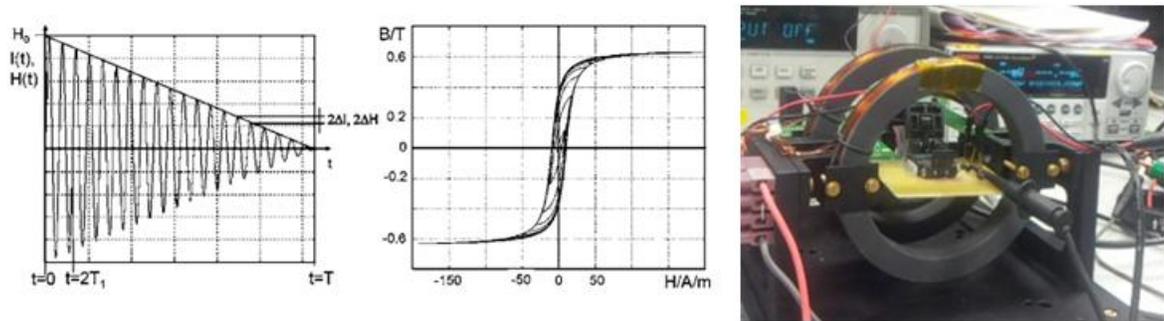


Fuente: Autor

El circuito micro close loop está montado sobre una placa y se adapta a las patillas del zócalo HTOL

Con el fin de desmagnetizar, el sistema de bobinas de Helmholtz se utiliza como un dispositivo controlable para crear un campo de desmagnetización. El campo máxima que puede ser generada con una fuente de corriente KE2636A es 7,5 mT, a partir de este campo se desarrolló el método de desmagnetización, mirar las características del dispositivo KE2636A en anexos, en la figura 65 el ultimo diagrama muestra el montaje del zócalo en la bobina de helmholtz

**Figura 65. Control de corriente en la bobina de helmholtz**



Fuente: Autor y Demagnetization of magnetically shielded rooms [50]

El control de corriente es forzado para que la bobina de helmoz pueda generar un campo magnético alterno amortiguado, lo que se quiere lograrse con esto es la orientación al azar de los dominios magnéticos del material.

El objetivo de la desmagnetización es reducir el campo magnético residual al valor ideal de  $B_i (H = 0) = 0$  por la orientación al azar de los dominios magnéticos, en el caso ideal en todas las direcciones espaciales. En la práctica esto se obtiene mediante la aplicación de un campo magnético alterno  $h(t)$ , por ejemplo, sinusoidal, generada por una corriente a través de una bobina. La amplitud de la corriente disminuye dependiendo de la función envolvente elegido  $e(t)$ , por ejemplo, una función lineal, a partir de una corriente que produce la saturación magnética en el interior del material ferromagnético, a cero [51] (primer diagrama en la figura 65). Este campo magnético alterno decreciente  $H$  obliga a la magnetización ( $M = B - \mu_0 H$ ) en un paso cíclico a través de los bucles de histéresis de saturación [ $B(H_0)$ ] en el estado desmagnetizado que es un estado local de energía mínimo (segundo diagrama en la figura 65).

### 4.6.1 Desmagnetización del socket HTOL

Con el fin de eliminar el campo magnético se mantiene una señal de desmagnetización, esta se genera al forzar una corriente alterna a las bobinas de Helmholtz, la corriente alterna amortiguada resulta de programar la curva de barrido en la fuente de corriente Keithley 2636A

La curva de barrido puede ser programada por el uso de los driver de lab tracer y Labview, el campo magnético en la bobina es medido usando el AS541X Hall Sensor IC.

En la tabla 8 se encuentre el Campo magnético alterno que resulta de la programación mediante el uso de lab trace

**Tabla 16. Señales de campo magnéticos alternos con lab tracer**

Funcion del canal	Voltage barrido de impulsos	Funcion del canal	Voltage barrido de impulsos
Inicio pulso voltage (v)	-10	Inicio pulso voltage (v)	10
Parar Pulso voltage (v)	10	Parar Pulso voltage (v)	0
Pulso off voltage (v)	0	Pulso off voltage (v)	0
Numero de puntos	100	Numero de puntos	100
Pulso On time (sec)	0.2	Pulso On time (sec)	0.2
Pulso Off time (sec)	0.2	Pulso Off time (sec)	0.2
Tipo de barrido	Lineal	Tipo de barrido	Lineal
Conformidad (A)	1.5	Conformidad (A)	1.5

Funcion del canal	Voltage barrido de impulsos
Inicio pulso voltage (v)	10
Parar Pulso voltage (v)	0
Pulso off voltage (v)	-10
Numero de puntos	100
Pulso On time (sec)	0.2
Pulso Off time (sec)	0.2
Tipo de barrido	Lineal
Conformidad (A)	1.5

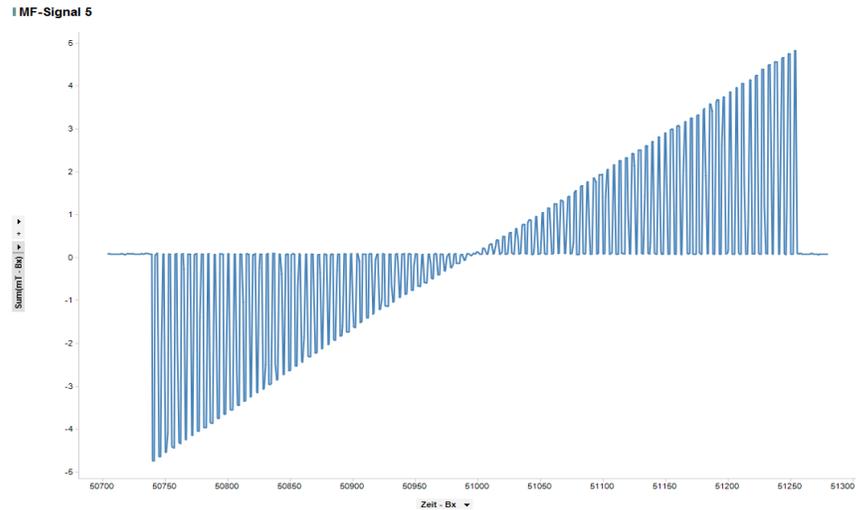
Fuente: Autor

En la tabla 16 superior izquierda esta la primera señal de barrido generada por la fuente de corriente, es un tipo de barrido lineal correspondiente a la figura 66, la cual muestra un pico negativo que poco a poco se atenúa para ser cero luego de este pico negativo hay un aumento del valor de campo magnético máximo y nuevamente vuelve a cero esto se logra con la configuración de un pulso de inicio de -10v luego paramos el pulso en 10v y finalmente lo apagamos en 0v, número de puntos tomados 100.

La parte superior derecha muestra el de barrido de la figura 67 la cual muestra un pico máximo y luego este decrece esta señal fue la toma 7 que genero la fuente de corriente Keithley 2636A, la configuración para este barrido de tipo lineal fue un pulso inicial de 10v

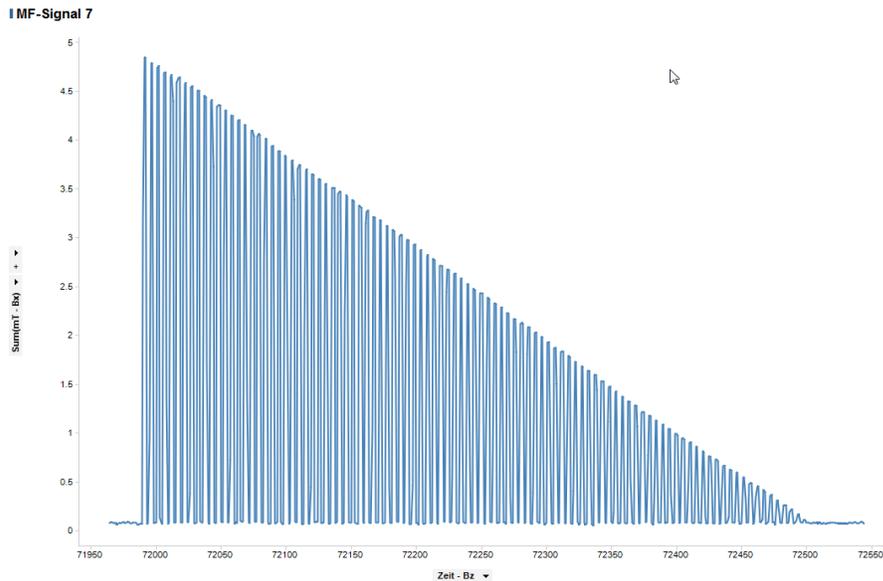
y el pulso de parada y de apagado fue de 0v para todo los casos de barrido se trabajaron los mismos parámetros en cuanto a número de puntos, pulso on time, pulso off time y conformidad que es la corriente suministrada por la fuente para generar este tipo de campo magnético alterno amortiguadas.

**Figura 66. Curva de barrido señal 5**



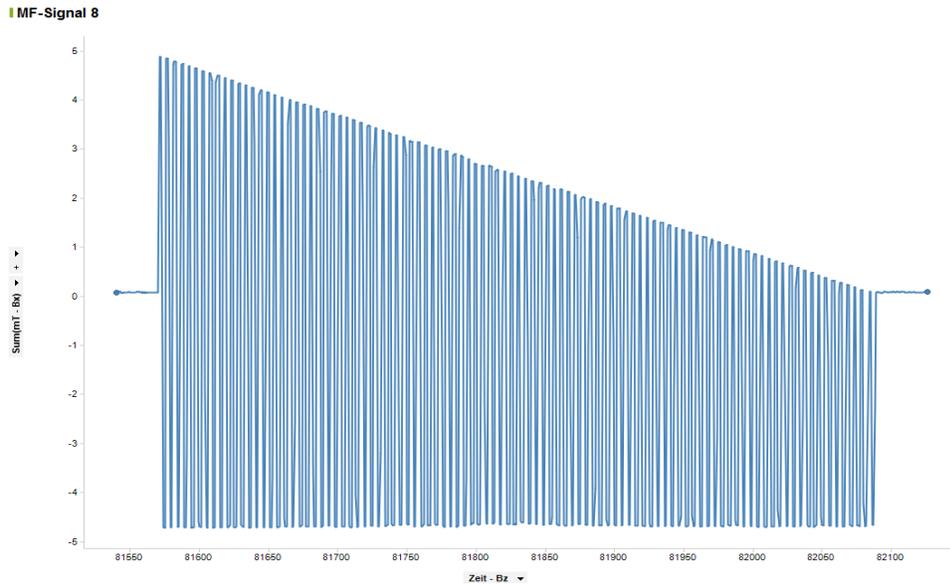
Fuente: Autor

**Figura 67. Curva de barrido señal 7**



Fuente: Autor

**Figura 68. Curva de barrido señal 8**



Fuente: Autor

En la tabla 16 parte inferior vemos la configuración de voltaje de inicio, voltaje de parada y voltaje de apagado para la generación de la figura 68 la cual muestra un campo magnético uniforme que va decreciente en los valores positivos de campo magnético.

Después de programar una lista de barrido en Labview utilizando el módulo de barrido del conductor KE26XX como se observa en la figura 69, se ha obtenido el campo magnético alterno que se esperaba, en la tabla 17 se observa los valores de configuración para obtener el campo requerido estos valores se pueden ver representados en la figura 70.

**Figura 69. Lista de barrido de campo magnético alterno**

```
Sweep List (0, 15, 0, -15, 0, 14, 0, -14,  
0, 13, 0, -13, 0, 12, 0, -12, 0, 11, 0, -11,  
0, 10, 0, -10, 0, 9, 0, -9, 0, 8, 0, -8, 0, 7,  
0, -7, 0, 6, 0, -6, 0, 5, 0, -5, 0, 4, 0, -4, 0,  
3, 0, -3, 0, 2, 0, -2, 0, 1, 0, -1, 0)
```

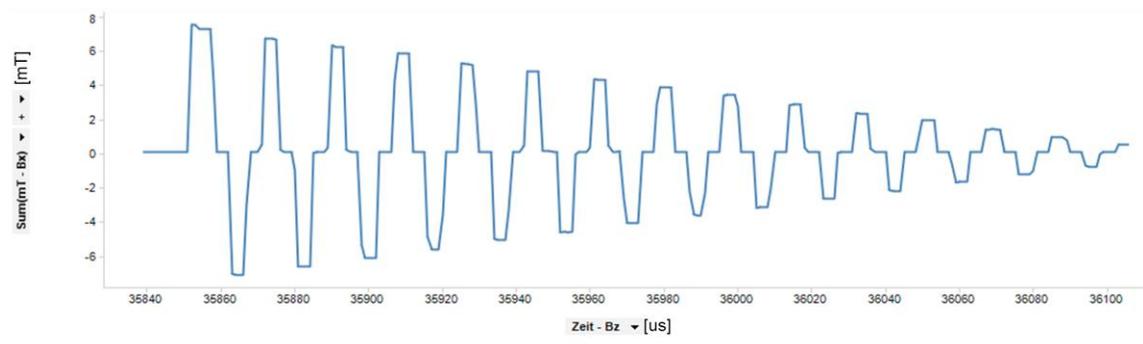
Fuente: Autor

**Tabla 17. Canal de campo magnético alterno con lab trace**

Tipo de barrido	Lista de voltage
Valor inicial (v)	NM
Valor final(v)	NM
Periodo de pulso (s)	0.2
Anchura del pulso (s)	0.1
Pulso Off time (sec)	0.2
Puntos	68
Nivel polarizacion (v)	20
Limit (A)	1.5
Rango de voltage(v)	20
Rango de corriente (A)	1.5
Medida Funcion	voltage
NPLC (s)	1 m

Fuente: Autor

**Figura 70. Obtención del campo magnético alterno**

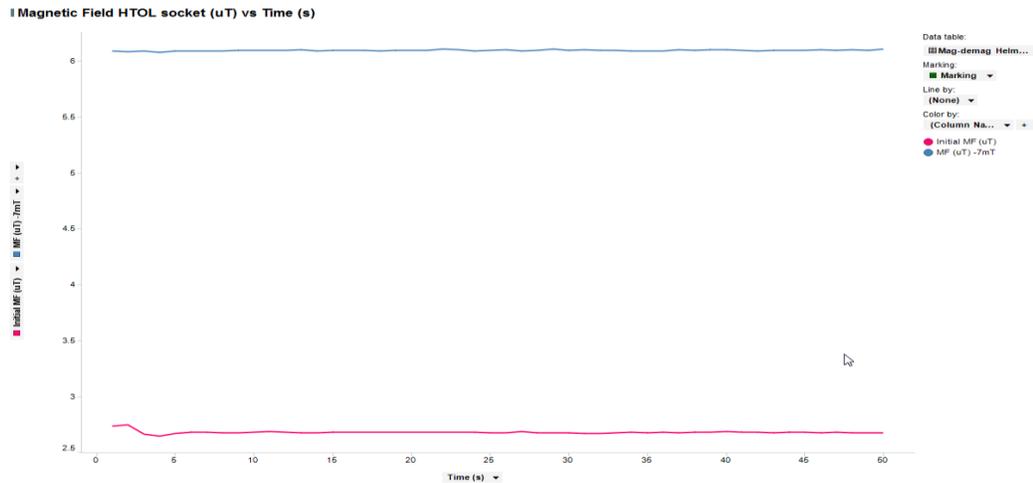


Fuente: Autor

Como se observa en la figura 70 la desmagnetización fue posible, se ve una atenuación del campo magnético en forma de corriente alterna amortiguada, nótese que la muestra de tiempo que se observa en la figura es del rango final cuando ocurre la atenuación, lo que indica que a medida que transcurre el tiempo se perdiendo el magnetismo presente en el material.

En la siguiente prueba se aplica un campo magnético de 7 mT al zócalo HTOL, El campo magnético antes y después de exponer el socket HTOL a 7 mT se mide, que es casi el máximo campo magnético que puede generar la fuente de corriente.

**Figura 71. Campo magnético HTOL socket vs el tiempo**

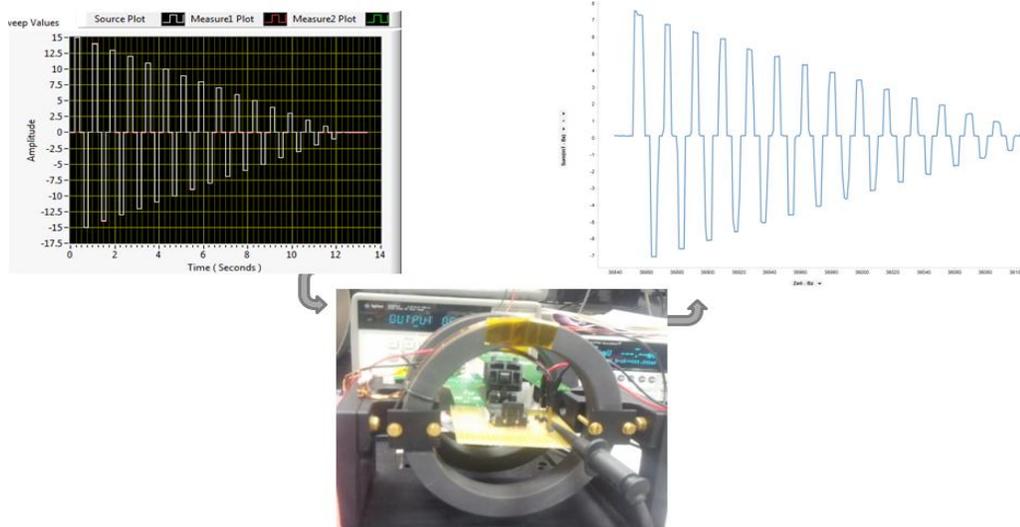


Fuente: Autor

En la figura 71 se observa el comportamiento después de aplicar 7 mT al zócalo HTOL los valores fueron medidos con el sensor DRV421 en la figura se observa que los valores se mantienen constantes, el color azul en la grafica indica cuando se aplico un campo magnético de -7mT este valor negativo es para que en el sensor de valores positivos y el color rojo es el valor de campo magnético inicial el valor de rojo esta dado en uT.

Se genera una señal de desmagnetización y el campo magnético se mide

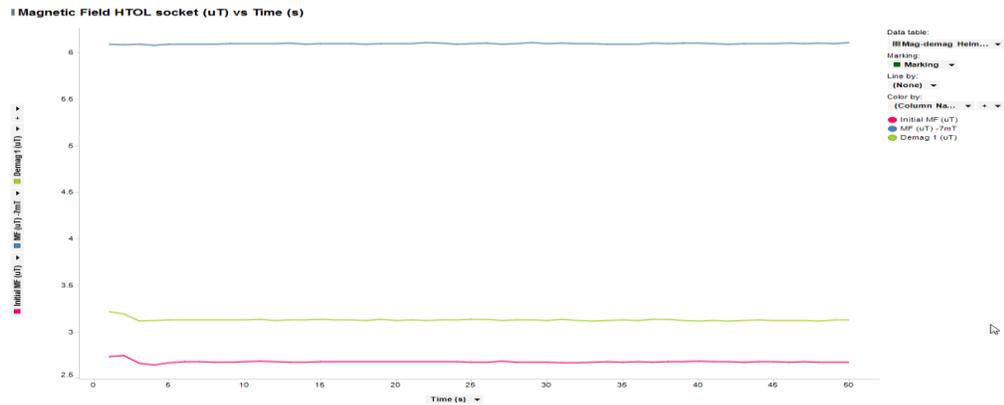
**Figura 72. Proceso y resultado del montaje del HTOL socket**



Fuente: Autor

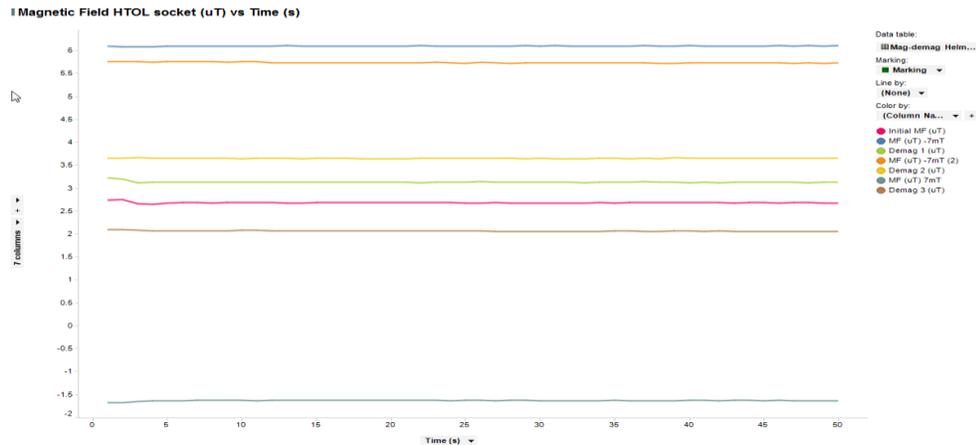
En la figura 72 se observan los pasos realizados para la desmagnetización, primero se genero la curva de barrido parte superior izquierda de la figura, a continuación el montaje del zócalo HTOL en la bobina de helmholtz parte inferior y finalmente el resultado medido con el sensor DVR421 se puede observar el comportamiento de las mediciones en la figura 73 y 74 nótese los valores que obtienen vienen dado de las salidas del sensor siendo así para la figura 73 el color verde es la salida de desmag que tiene el sensor, mirar figura 64.

**Figura 73. Campo magnético HTOL socket en el tiempo**



Fuente: Autor

**Figura 74. Campo magnético HTOL socket en el tiempo**



Fuente: Autor

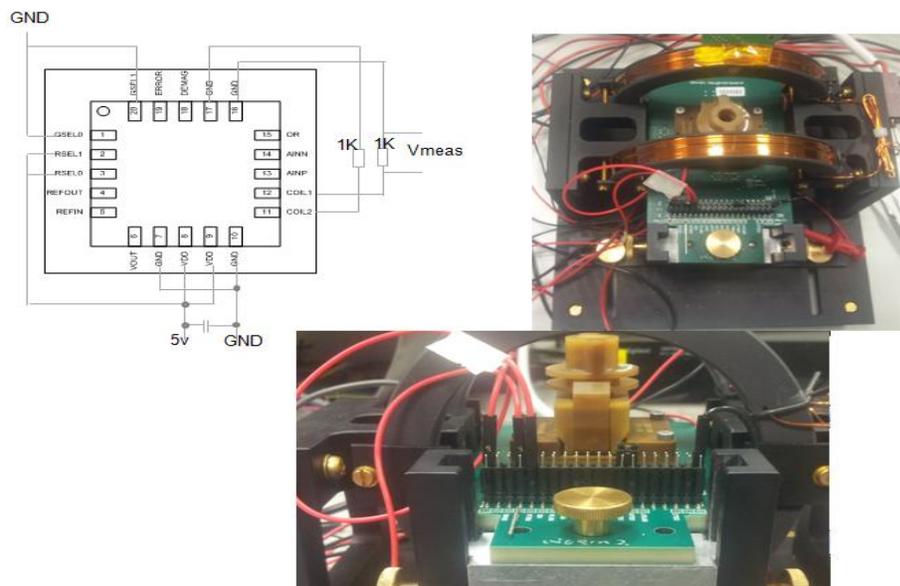
En la figura 74 vemos una medición mas completa dada por el sensor DVR421 con valores de campo magnético aplicado tanto negativo como positivo (un máximo de 7mT) ver línea azul oscura y azul clara también en la salida del sensor desmag medida 3 veces (verde, amarillo, café).

## 4.7 MU-METAL IC ZÓCALO DESPUÉS DE APLICAR 10 MT

El circuito de micro close loop es montado sobre la daughterboard (placa en la cual se realiza las conexiones del zócalo ic diseñada por los ingenieros de Texas instrument) y adaptado a él mu-metal socket. El mu metal socket es expuesto a 10 mT el campo magnético en el socket es medido antes y después de aplicar un campo externo mismo procedimiento que hemos realizado antes con el zócalo HTOL.

Los resultados se correlacionan en 6 diferentes chips para verificar que el proceso de desmagnetización funciona para cada uno de ellos.

**Figura 75. Montaje del circuito de micro close loop en la daughterboard**

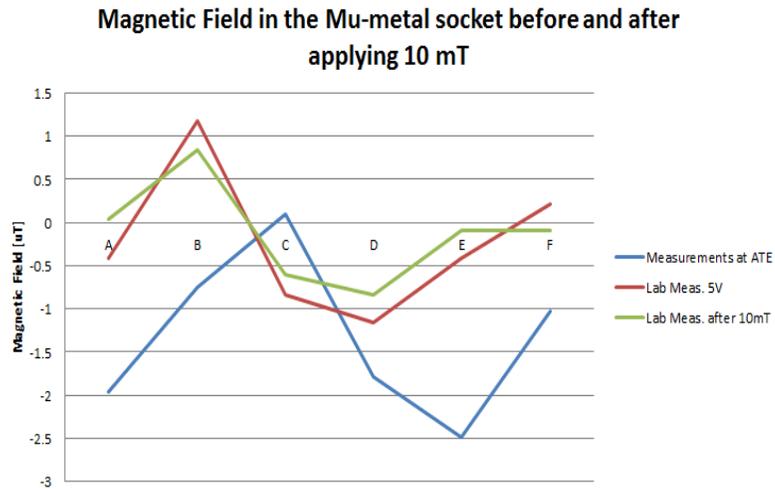


Fuente: Autor

En la figura75 se observa el montaje del sensor DVR421 en la mu metal zócalo, para la realización de desmagnetización y poder cumplir así el objetivo general del presente trabajo, este zócalo es utilizado para la protección del sensor ya antes mencionado

Las mediciones de los 6 diferentes chips se encuentran en los anexos del presente trabajo cabe recordar que ella se encuentra las mediciones de campo magnético antes y después de aplicar los 10 mT al circuito de micro close loop, entre otros valores mas relevantes para los resultados de las posteriores figuras.

**Figura 76. Campo magnético en la mu-metal antes y después de aplicar 10 mT**

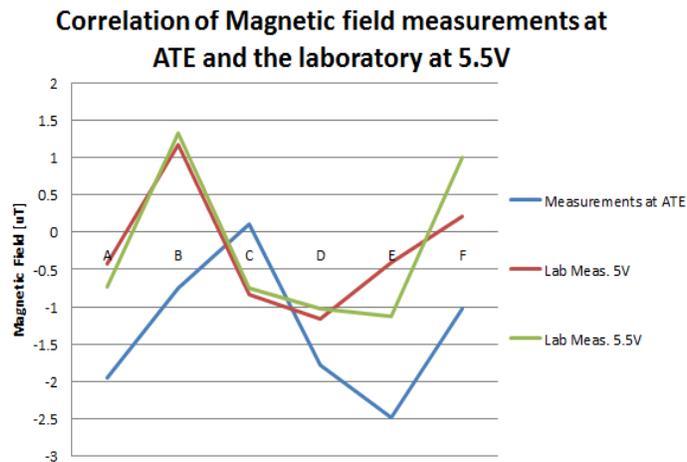


Fuente: Autor

En la figura 76 se observa la relación de mediciones antes y después de aplicar 10mT a él mu metal socket estas mediciones son de los 6 chips (A, B, C, D, E, F) la línea azul muestra las mediciones realizadas por la prueba de piso (ATE), la línea roja muestra la medición del laboratorio antes de aplicar los 10mT y la línea verde muestra la medición después de ser aplicado los 10mT.

El campo magnético se mide a diferentes voltajes de entrada y el offset entre las mediciones en el test floor (ATE) y el laboratorio es estimado

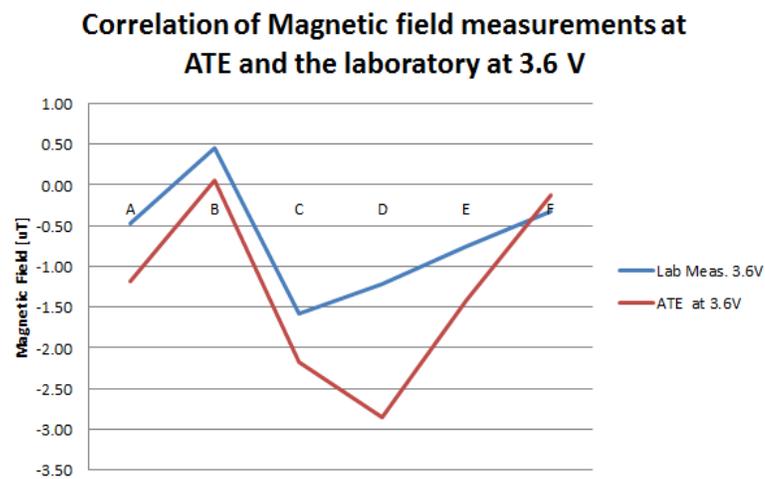
**Figura 77. Correlación de mediciones del campo magnético a 5.5V**



Fuente: Autor

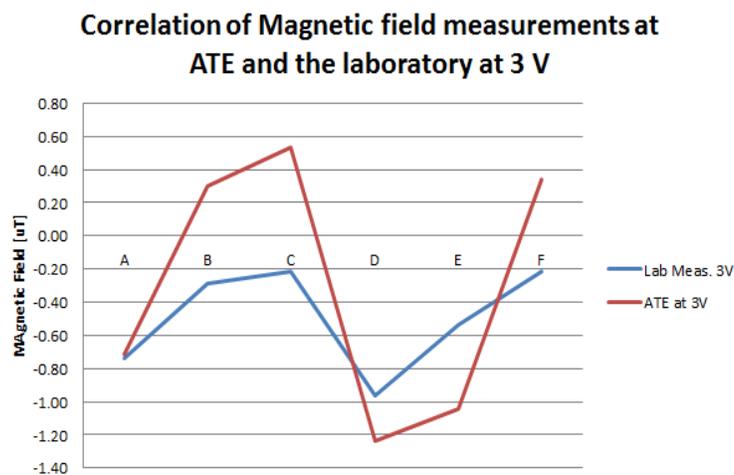
El ATE (Equipo de prueba automático) es cualquier dispositivo que realiza pruebas a otros dispositivos con el fin de tener un margen equivalente de fiabilidad en este caso utilizamos los mismos sensores que se testearon con el mu metal socket para realizar las mediciones de prueba de piso (test floor). Como se ven en las figuras 77, 78,79 en estas figuras se ve las mediciones que se realizaron con los sensores (A, B, C, D, E, F) a diferentes voltajes en la figura 77 a 5.5V en la figura 78 a 3.6V y finalmente la figura 79 la cual se hizo con un voltaje de 3V para tener un margen de offset mas visible, mirar mediciones en los anexos del presente trabajo.

**Figura 78. Correlación de mediciones del campo magnético a 3.6V**



Fuente: Autor

**Figura 79. Correlación de mediciones del campo magnético a 3 V**



Fuente: Autor

# **5. CAPÍTULO**

## **CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA**

El presente capítulo se encuentra las conclusiones generales de todos los pasos realizados en el presente trabajo y las citas bibliográficas que se utilizaron.

# CONCLUSIONES

## **Diseño de la bobina**

- Las pequeñas geometrías son constructivamente factibles en lugar de más grandes geometrías de bobina
- Si la longitud de la bobina es menor de 10 veces el radio de la bobina, la relación campo magnético no tiene lugar, sin embargo a altas longitudes la cantidad y el grosor del cable es enorme.
- Las simulaciones se han hecho para probar si la bobina diseñada genera 100mT, como resultado cualquier geometría se espera que tenga 100 mT de densidad de campo magnético.
- Se requiere una mayor fuente de corriente y voltaje para garantizar un diseño de bobina fiable

## **Escudo de Mu-metal Despues de aplicar 300Mt de campo magnético externo**

- El escudo Mu-metal ha sido expuesto a un campo externo de 300 mT durante 15 segundos sin afectar a su permeabilidad y sin producir un efecto de saturación.
- Se requiere un campo externo mayor 300 mT para saturar el escudo Mu-metal.
- La fuente de alimentación disponible se puede obligar a un máximo de 10 A y 25 V.
- Se requiere una fuente de alimentación adicional. Hay una fuente de alimentación disponible que puede forzar 60 A 125 V, pero no es manual disponible. Sin embargo se ha solicitado el manual.

## **Escudo Mu-metal Despues de aplicar más que 1 Tesla de campo magnético externo.**

- Al utilizar el imán Universidad Friedrich Schiller, el escudo Mu-metal ha sido inicialmente expuesto a un campo externo de 620 mT durante 30 segundos sin afectar a su permeabilidad y sin producir un efecto de saturación.

- Después de cambiar la posición la muestra se genera un campo superior 716 mT. Este campo magnético no causó la saturación. Se requiere una muestra más pequeña para generar campos más altos.
- Mediante el uso del imán disponible en el Ernst Abbe Hochschule Jena, el campo externo máximo aplicado ha sido de 2 T, por desgracia tan alto campo no causó la saturación del escudo Mu-metal.

### **Conclusiones Generales del trabajo**

- El campo magnético necesario para saturar la Mu-metal hasta magnetizarlo es mayor que 2 T, no hay posibilidad de que tales campos altos pueden estar presentes en la prueba de piso (test floor). Por lo tanto se ha demostrado que el Mu-metal es un excelente escudo para los propósitos de prueba de fluxgate-chip.
- El método de desmagnetización se ha desarrollado para la toma de HTOL satisfactoria. A pesar de que el material no se ha saturado, el campo magnético remanente después de aplicar un campo externo de 7mT es removido después de aplicar un campo magnético alterno amortiguado. el experimento se ha repetido en 6 chip diferentes y el offset (siendo el offset valor que se asemeja a la referencia o a 0) es menor que 1UT.
- La prueba del mu-metal socket ha sido expuesto a 10 mT, no hay campo magnético remanente que pruebe que el socket no puede ser magnetizado en el test floor.
- Las mediciones realizadas en laboratorio y en test floor se han realizado en 6 chip diferentes, el promedio de offset es de alrededor de 1,2 UT.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Hilton, SA Eccleston, y AG Clegg, "Mejorar la precisión de in-Coercitividad mediciones intrínsecas de los materiales magnéticamente blandos " IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 8, pp. 2322-2327, agosto 2005.
- [2] S. Takahashi et al., "Análisis de menor histéresis bucles de neutrones la radiación y la deformación plástica en Fe puro, " IEEE Trans. Magn., vol. 43, no. 6, pp 2689-2691., Jun 2007.
- [3] Demagnetizing-----[Online].  
<http://www.zephyrus.co.uk/demagnetizing.html>
- [4] Formas de desmagnetización----- [Online].  
[http://www.ehowenespanol.com/formas-desmagnetizacion-sobre\\_473561/](http://www.ehowenespanol.com/formas-desmagnetizacion-sobre_473561/)
- [5] yuxiang-----[Online].  
<http://www.xmagnet.net/faq.html>
- [6] Stason.org----- [Online].  
<http://stason.org/TULARC/entertainment/audio/general/14-11-How-do-I-clean-and-demagnetize-tape-heads.html>
- [7] Instituto politécnico nacional----- [Online].  
<http://www.academico.cecyt7.ipn.mx/FisicaIV/unidad1/magnetizacion.htm>
- [8] Ecured ferromagnetismo-----[Online].  
<http://www.ecured.cu/Ferromagnetismo>
- [9] Universidad de vigo-----[Online].  
[http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/index.htm](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/index.htm)
- [10] Preparada por José Lloret y Alicia Forment, y liberada bajo la GFDL. -----[Online].  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Dominios.png>
- [11] J.A. Gómez Tejedor, J.J.Olmos Sanchis. Cuestiones y problemas de electromagnetismo y semiconductores. I.S.B.N.: 84-7721-827-7. Servicio de Publicaciones SPUPV-99.4157. [Universidad Politécnica de Valencia](http://www.universidadpolitecnica.es).

- [12] Ferromagnetismo-----[Online].  
[Reverté \(1981\). Circuitos Magnéticos y Transformadores .Buenos Aires.](#)
- [13] Ferromagnetismo-----[Online].  
<https://fisicacontemporanea.wordpress.com/materiales-ferromagneticos/>
- [14] materiales ferromagneticos-----[Online].  
[http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/materiales\\_ferromagneticos.htm](http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/materiales_ferromagneticos.htm)
- [15] permeabilidad magnetica-----[Online].  
<https://prezi.com/clsatexyry8r/permeabilidad-magnetica/>
- [16] Web\_electromagnetismo-----[Online].  
[http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo/imagenes/susceptibilidades.jpg](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo/imagenes/susceptibilidades.jpg)
- [17] susebtibilidad magnetica-----[Online].  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Susceptibilidad\\_magn%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Susceptibilidad_magn%C3%A9tica)
- [18] maquinas electricas jesus fraile mora, quinta edicion, editorial concepcion fernandez madrid derechos reservados 2003
- [19] fisica 12 la web de años-----[Online].  
<http://forum.lawebdefisica.com/threads/24759-iman-y-clavo/page2>
- [20] limadura de hierro----- [Online].  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Limaduras\\_de\\_hierro#/media/File:Magnet0873.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Limaduras_de_hierro#/media/File:Magnet0873.png)
- [21] magnetizacion-----[Online].  
<http://www.mitecnologico.com/electrica/Main/Magnetizacion>
- [22] Instituto politécnico nacional----- [Online].  
<http://www.academico.cecyt7.ipn.mx/FisicaIV/unidad1/magnetizacion.htm>
- [23] particulas magneticas----- [Online].  
<http://www.monografias.com/trabajos30/particulas-magneticas/particulas-magneticas.shtml#metodos>

- [24] Gindt----- [Online].  
<http://www.gindt.co.in/magnetic.php>
- [25] resoucer center-----[Online].  
<https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Physics/Magnetization.htm>
- [26] particulas magneticas----- [Online].  
<http://es.slideshare.net/angelgeovanny888/particulas-a-magneticas>
- [27] the american society for nondestructive testing----- [Online].  
<https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>
- [28] bueno saber----- [Online].  
<http://bueno-saber.com/aficiones-juegos-y-juguetes/ciencia-y-naturaleza/la-desmagnetizacion-de-los-iman-permanentes.php>
- [29] Electricidad-----[Online].  
[http://mei-erazo.blogspot.de/2012\\_09\\_01\\_archive.html](http://mei-erazo.blogspot.de/2012_09_01_archive.html)
- [30] mu metal dataship 1998-2013 The MuShield Company 9 Ricker Avenue | Londonderry, New Hampshire, USA
- [31] Magnetic Fields and Shields». FAQ. Magnetic Shield Corp. Consultado el 14 de diciembre de 2008.
- [32] de la bruja al espin Autores: julia tagüeña / esteban martina Primera edición (La Ciencia desde México), 1988
- [33] temperatura de curie-----[Online].  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura\\_de\\_Curie](https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_Curie)
- [34] universidad politecnica de valencia-----[Online].  
[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm10/pfcm10\\_3\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm10/pfcm10_3_3.html),  
[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Indice\\_FCM.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Indice_FCM.html)
- [35] Alternating field and thermal dezmagetizacio-----[Online].  
[http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn34/tn34\\_5.htm](http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn34/tn34_5.htm)
- [36] tutor visita-----[Online].

<http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-i/magnetism/demagnetization.php>

- [37] Corriente de Foucault -----[Online].  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente\\_de\\_Foucault](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_de_Foucault)
  
- [38] Efecto jule-----[Online].  
<https://prezi.com/eqm0njbe6ccz/efecto-joule/>
  
- [39] Expresspcb-----[Online].  
<https://translate.google.com.co/translate?hl=es&sl=en&u=https://www.expresspcb.com/&prev=search>
  
- [40] Finite Element method magnetics-----[Online].  
<http://www.femm.info/wiki/MagneticsTutorial>
  
- [41] LabVIEW-----[Online].  
<https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
  
- [42] Device Characterization Techniques using Keithley SourceMeter-----[Online].  
[http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/document/resources/Lab\\_Tracer\\_Lab](http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/document/resources/Lab_Tracer_Lab)
  
- [43] VEC-----[Online].  
<http://www.vec.com.ar/web/categorias/induccin-termica>
  
- [44] Ambrell-----[Online].  
<http://es.ambrell.com/acerca-de-induccin.html>
  
- [45] Apparatus for Magnetization and Efficient Demagnetization of Soft Magnetic Materials, Paul Oxley, Physics Department, The College of the Holy Cross, Worcester, MA 01610 USA
  
- [46] DVR425 fluxgate magnetic field-----[Online].  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/785971/TI1/DRV425.html>
  
- [47] Helmholtz coils-----[Online].  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz\\_coil](https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_coil)
  
- [48] Bartington instrument-----[Online].  
<http://www.bartington.com/mag-03-three-axis-magnetic-field-sensor.html>

- [49] Ams-----[Online].  
<http://ams.com/eng/Products/Magnetic-Position-Sensors/Linear-Position/AS5410>
- [50] Anysilicon-----[Online].  
<https://translate.google.com.co/translate?hl=es&sl=en&u=http://anysilicon.com/introduction-htol/&prev=search>
- [51] Demagnetization of magnetically shielded rooms F. Thiel, A. Schnabel, S. Knappe-Grüneberg, D. Stollfuß, and M. Burghoff Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig and Berlin, FB 8.2 Biosignals, Abbestrasse 2-12, 10587 Berlin, Germany Received 1 December 2006; accepted 8 February 2007; published online 19 March 2007
- [52] Series 2600A System SourceMeter® User's Manual 2600AS-900-01 Rev. B / September 2008
- [53] DRV421 Sensor for Closed-Loop Current Sensing----- [Online].  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv421.pdf>

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1. DISPOSITIVOS EMPLEADOS**

#### **KE2636A**

El instrumento de la serie 2600A Sistema SourceMeter® proporciona a los fabricantes de componentes electrónicos y dispositivos semiconductores un instrumento que combina las capacidades de origen y de medición en un solo instrumento llamado una unidad de fuente-medida (también conocido como SMU). Esta combinación simplifica los procesos de ensayo mediante la eliminación de problemas de sincronización y de conexión asociados con múltiples soluciones de instrumentos. Una serie 2600A proporciona una solución escalable, de alto rendimiento, altamente rentable solución para la precisión de CC, el pulso y la baja frecuencia de CA pruebas de fuente-medida que también mantiene la compatibilidad del código en todo el 2600A Series. Este dispositivo permite la interconexión con programas como visual Basic y LabVIEW facilitando la configuración que el usuario quiera realizar. [52]

#### **SENSOR DVR421**

Acondicionador de bucle cerrado de detección de corriente con sensor integrado Fluxgate El DRV421 está diseñado para sensores de corriente de lazo cerrado magnéticos, lo que permite mediciones precisas aislados, DC y AC actuales. El dispositivo proporciona tanto, el sensor única y propia válvula de flujo integrado (IFG), y la señal analógica acondicionado necesario, reduciendo así al mínimo el número de componentes y el costo. La baja de desplazamiento (3 mT) y la deriva (30 nT / °C) del IFG, junto con un frente optimizado - Resultados en el circuito final en la medición de precisión sin igual.

El DRV421 proporciona todos los bloques de circuitos necesarios para conducir el bucle de realimentación de detección de corriente. El circuito de lectura del sensor es seguido por un integrador / filtro que se puede configurar para trabajar con módulos de detección de corriente más comunes. El integrado de 250 mA del puente H impulsa la bobina de compensación, mientras que casi el doble de la gama de medición de corriente en comparación con los métodos de transmisión de extremo único convencionales. El dispositivo también proporciona un amplificador diferencial de precisión para generar y conducir la señal de salida analógica. [53]

## ANEXO 2. TABLA DE MEDICIONES CON 10MT

Tabla 18. Mediciones con el sensor de efecto hall a la muestra mu metal

Temperatura bobina	Campo externo				Campo magnético en el material				Medición de sonda hall	fecha
	tiempo(s)	I in	B ext (mT)		Vout (mV)	Vderivado (mV)	I (mA)	B (mT)	B (mT)	
22	0	0	0	muS1	2.23	0.5575	0.025341	0.00206	0.015	10.04.15
25.1	100	1	5	muS1	7.852	1.963	0.089227	0.007254	0.06	10.04.15
25.6	50	1.5	7.5	muS1	8.102	2.0255	0.092068	0.007485	0.02	10.04.15
26.6	100	1.5	7.5	muS1	7.89	1.9725	0.089659	0.007289	0.025	10.04.15
29.6	50.9	2	10	muS1	9.032	2.258	0.102636	0.008344	0.03	10.04.15
22.9	0	0	0	muS2	3.911	0.97775	0.044443	0.003613	0.015	16.04.15
23.1	50	0.5	2.5	muS2	26.623	6.65575	0.302534	0.024596	0.08	16.04.15
24.7	53	1	5	muS2	23.313	5.82825	0.26492	0.021538	0.03	16.04.15
26.61	51	1.5	7.5	muS2	8.873	2.21825	0.10083	0.008198	0.013	16.04.15
27.1	100	1.5	7.5	muS2	11.265	2.81625	0.128011	0.010407	0.022	16.04.15
29.5	50.7	2	10	muS2	5.435	1.35875	0.061761	0.005021	0.03	16.04.15
30	22.5	2.17	10.85	muS2	12.112	3.028	0.137636	0.01119	0.021	16.04.15
22.9	0	0	0	muS3	16.49	4.1225	0.187386	0.015235	0.001	16.04.15
23.1	50	0.5	2.5	muS3	27.94	6.985	0.3175	0.025813	0.02	16.04.15
24.3	50	1	5	muS3	13.881	3.47025	0.157739	0.012824	0.02	16.04.15
27.1	50	1.5	7.5	muS3	8.38	2.095	0.095227	0.007742	0.005	16.04.15
30.7	58	2	10	muS3	3.66	0.915	0.041591	0.003381	0.011	16.04.15
30.7	58	2	10	muS3b	0.272	0.068	0.003091	0.000251	0.011	16.04.15

Fuente: Autor

Tabla 19. Mediciones correspondientes a la figura 38

1	Date	20.04	20.04	20.04	20.04	21.04	21.04	21.04	21.04	21.04	21.04	21.04	21.04
2	T (C)	22	22.3	22.4	22.9	23	23.3	24.7	25.3	26.1	27.7	29.6	30.6
3	I(A)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.17
4	B(mT)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10.8
5		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.03E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.05E-02	4.06E-02
6		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.03E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.05E-02	4.05E-02
7		4.10E-02	4.04E-02	4.05E-02	4.10E-02	3.98E-02	4.04E-02	4.03E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.05E-02	4.06E-02
8		4.10E-02	4.06E-02	4.05E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.03E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.04E-02	4.06E-02
9		4.10E-02	4.05E-02	4.05E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.03E-02	4.03E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.04E-02	4.06E-02
10		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.03E-02	3.93E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.04E-02	4.06E-02
11		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.04E-02	4.06E-02
12		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.04E-02	4.07E-02
13		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.04E-02	4.07E-02
14		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.22E-02
15		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.22E-02
16		4.10E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.22E-02
17		4.11E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
18		4.12E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.03E-02	4.02E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
19		4.13E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
20		4.13E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.94E-02	4.13E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
21		4.14E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.12E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
22		4.14E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.12E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
23		4.14E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.94E-02	4.12E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02
24		4.14E-02	4.04E-02	4.06E-02	4.08E-02	4.04E-02	4.04E-02	4.02E-02	3.93E-02	4.12E-02	4.03E-02	4.03E-02	4.21E-02

Fuente: Autor

En la tabla 19 y 20 las mediciones mostradas son las primeras 24 de los 600 correspondiente en función del tiempo.

**Tabla 20. Conversión de los valores de la tabla 19 a valores de campo magnético**

Time (s)	0 mT	1 mT	2 mT	3 mT	4 mT	5 mT	6 mT	7 mT	8 mT	9 mT	10 mT	10.8 mT
1	3.78E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.74E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.75E-05	3.75E-05
2	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.74E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.74E-05	3.75E-05
3	3.78E-05	3.73E-05	3.74E-05	3.79E-05	3.68E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.74E-05	3.75E-05
4	3.79E-05	3.75E-05	3.74E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.74E-05	3.75E-05
5	3.79E-05	3.74E-05	3.74E-05	3.77E-05	3.74E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.74E-05	3.75E-05
6	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.73E-05	3.75E-05
7	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.73E-05	3.75E-05
8	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.73E-05	3.76E-05
9	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.63E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.73E-05	3.76E-05
10	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.73E-05	3.90E-05
11	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.74E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.73E-05	3.90E-05
12	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.82E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
13	3.79E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.63E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
14	3.81E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.74E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
15	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
16	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.74E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
17	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
18	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.63E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
19	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.64E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
20	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.63E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
21	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.63E-05	3.81E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.89E-05
22	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.71E-05	3.81E-05	3.84E-05	3.72E-05	3.89E-05
23	3.83E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.71E-05	3.81E-05	3.84E-05	3.72E-05	3.89E-05
24	3.82E-05	3.73E-05	3.75E-05	3.77E-05	3.73E-05	3.73E-05	3.72E-05	3.71E-05	3.81E-05	3.84E-05	3.72E-05	3.88E-05

Fuente: Autor

### ANEXO 3. DISEÑO DE BOBINA

**Tabla 21. Diseño de bobina circular**

B (T)	radio bobina (m)	z (m)	Circular coil						
			N	longitud cable (m)	numero de vueltas	cable necesitado ohm/m	resistencia (ohms) I max 2A	cable disponible ohm/m	AWG
0.1	0.03	0.02	4,144	818.75	133.6572	0.0128	10.81	0.0132	16
0.1	0.03	0.025	5,266	1,031.25	305.408	0.0102	10.73	0.0104	15
0.1	0.035	0.02	4,255	1,031.25	308.512	0.0102	10.73	0.0104	15
0.1	0.035	0.025	5,169	1,300.00	337.0228	0.0081	10.78	0.0083	14
0.1	0.035	0.03	6,363	1,300.00	345.7473	0.0081	10.78	0.0083	14

Fuente: Autor

**Tabla 22. Costo del diseño de bobina circular**

resistencia por (m) disponible	numero de capas	espesor de la bobina	peso (Kg)	AWG	Supliers cost		
					Sauter	Digikey	Farnell
0.00657	189.60673	0.3469803	44.54	13	€ 872.91	€ 2,792.50	€ 1,889.39
0.0104	210.32878	30.497673	97.71	15	€ 1,898.43		

Fuente: Autor

## ANEXO 4. MAGNETIZACIÓN Y DESMAGNETIZACIÓN

**Tabla 23. Mediciones correspondientes a la figura 63**

time	BM2 Socket 1 (uT)	BM2Socket 2 (uT)	AM2 Socket 1 (uT)	AM2 Socket 2 (uT)
1	1.74	1.72	1.68	1.67
2	1.74	1.69	1.69	1.67
3	1.73	1.71	1.68	1.67
4	1.74	1.70	1.70	1.68
5	1.72	1.70	1.70	1.68
6	1.72	1.69	1.70	1.67
7	1.73	1.71	1.71	1.67
8	1.74	1.72	1.69	1.69
9	1.75	1.70	1.71	1.68
10	1.75	1.71	1.69	1.69
11	1.73	1.69	1.70	1.68
12	1.73	1.70	1.69	1.69
13	1.74	1.70	1.70	1.71
14	1.73	1.72	1.70	1.70
15	1.74	1.69	1.71	1.69
16	2.28	1.74	3.71	-3.18
17	6.27	25.41	13.68	-42.67
18	3.09	27.22	21.85	-45.39
19	6.03	37.79	22.19	-66.01
20	5.72	31.34	24.54	-55.52
21	5.58	37.17	25.36	-52.66
22	5.37	23.89	30.80	-46.17

Fuente: Autor

En la tabla 23 las mediciones mostradas son las primeras 22 de las 225 totales

**Tabla 24. Mediciones con el DRV421**

Current (A)	MF (mT)	Vout	Vdif (v)	mT	uT	Refin-Vont(mV)
-0.5	-2.6	2.515423	2.52E-05	0.0126	12.6	9.91557003
-0.4	-2.2	2.515424	2.63E-05	0.01316	13.16	9.91690782
-0.35	-1.88	2.51542	2.22E-05	0.011095	11.095	9.91505447
-0.34	-1.81	2.515435	3.72E-05	0.01858	18.58	9.91931485
-0.33	-1.75	2.515427	2.98E-05	0.01488	14.88	9.91432155
-0.32	-1.72	2.515429	3.13E-05	0.015635	15.635	9.91730822
-0.31	-1.7	2.515424	2.66E-05	0.01329	13.29	9.91614476
-0.3	-1.68	2.515444	4.69E-05	0.023445	23.445	9.91504215
-0.29	-1.65	2.515407	9.60E-06	0.0048	4.8	9.91694127
-0.28	-1.63	2.515407	9.60E-06	0.0048	4.8	9.91826173
-0.27	-1.58	2.515436	3.85E-05	0.019265	19.265	9.91757112
-0.26	-1.48	2.515469	7.15E-05	0.03574	35.74	9.91759006
-0.25	-1.45	2.515466	6.86E-05	0.03429	34.29	9.91813649
-0.24	-1.4	2.515473	7.54E-05	0.03769	37.69	9.91729999
-0.23	-1.38	2.515419	2.11E-05	0.01056	10.56	9.91737011
-0.22	-1.35	2.515453	5.53E-05	0.02765	27.65	9.91618683
-0.21	-1.3	2.515446	4.83E-05	0.02416	24.16	9.91590942
-0.2	-1.25	2.515426	2.86E-05	0.014325	14.325	9.91794298
-0.19	-1.2	2.515459	6.16E-05	0.0308	30.8	9.91570399
-0.18	-1.18	2.515419	2.12E-05	0.010605	10.605	9.91450055
-0.17	-1.05	2.515438	4.06E-05	0.020305	20.305	9.91689711
-0.16	-1	2.515418	2.10E-05	0.01051	10.51	9.91770249

**Tabla 25. Mediciones correspondientes a la figura 74**

	Vout (v)	Vout (v) -7mT	demag 1 (v)	Vout (v) 7mT	demag 2 (v)	Vout (v) -7mT	demag 3 (v)
1	7.96E-03	8.02E-02	4.70E-02	-1.25E-02	3.51E-02	6.77E-02	4.02E-02
2	7.97E-03	8.02E-02	4.71E-02	-1.25E-02	3.52E-02	6.77E-02	4.01E-02
3	7.21E-03	8.03E-02	4.70E-02	-1.25E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.96E-02
4	6.75E-03	8.02E-02	4.70E-02	-1.25E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.93E-02
5	6.81E-03	8.03E-02	4.72E-02	-1.26E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.98E-02
6	6.69E-03	8.03E-02	4.71E-02	-1.35E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.98E-02
7	6.67E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.36E-02	3.53E-02	6.78E-02	3.98E-02
8	6.81E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.35E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.98E-02
9	6.70E-03	8.02E-02	4.71E-02	-1.34E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02
10	6.75E-03	8.02E-02	4.71E-02	-1.38E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02
11	6.81E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.37E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.99E-02
12	6.71E-03	8.02E-02	4.71E-02	-1.30E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02
13	6.68E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.30E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.99E-02
14	6.71E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.31E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.98E-02
15	6.75E-03	8.02E-02	4.73E-02	-1.31E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02
16	6.70E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.31E-02	3.53E-02	6.76E-02	3.99E-02
17	6.69E-03	8.03E-02	4.72E-02	-1.31E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.99E-02
18	6.75E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.30E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.99E-02
19	6.73E-03	8.03E-02	4.73E-02	-1.31E-02	3.52E-02	6.77E-02	4.00E-02
20	6.71E-03	8.03E-02	4.72E-02	-1.31E-02	3.53E-02	6.78E-02	3.99E-02
21	6.70E-03	8.02E-02	4.72E-02	-1.31E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02
22	6.84E-03	8.03E-02	4.72E-02	-1.31E-02	3.53E-02	6.77E-02	3.99E-02
23	6.71E-03	8.03E-02	4.72E-02	-1.32E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02
24	6.82E-03	8.03E-02	4.72E-02	-1.30E-02	3.52E-02	6.77E-02	3.99E-02

**Tabla 26. Mediciones del Chip C**

Time (s)	Vout (mv)	Vout (mv) -7mT	demag 1 (mv)	MF after 12h (mv)
1	7.96	80.25	46.98	2.59
2	7.97	80.20	47.07	2.59
3	7.21	80.26	47.05	2.58
4	6.75	80.17	47.02	2.57
5	6.81	80.27	47.18	2.58
6	6.69	80.25	47.11	2.58
7	6.67	80.20	47.18	2.59
8	6.81	80.20	47.20	2.59
9	6.70	80.19	47.14	2.59
10	6.75	80.19	47.15	2.58
11	6.81	80.18	47.21	2.58
12	6.71	80.20	47.12	2.56
13	6.68	80.22	47.21	2.58
14	6.71	80.25	47.19	2.58
15	6.75	80.17	47.25	2.58
16	6.70	80.24	47.21	2.56
17	6.69	80.33	47.17	2.58
18	6.75	80.24	47.20	2.58
19	6.73	80.28	47.27	2.59
20	6.71	80.34	47.20	2.58
21	6.70	80.24	47.16	2.58
22	6.84	80.28	47.18	2.59
23	6.71	80.30	47.22	2.59
24	6.82	80.34	47.18	2.58

**Tabla 27. Mediciones del Chip A**

Time (s)	Vout (mv) -7mT	MF -7mT (uT)	Demag 1 (mv)	Vout after 12h (mv)
1	74.98	6.10	38.47	35.25
2	75.15	6.11	38.57	35.24
3	74.55	6.06	38.51	35.25
4	73.12	5.95	38.54	35.22
5	73.29	5.96	38.49	35.24
6	73.36	5.96	38.49	35.24
7	73.38	5.97	38.45	35.15
8	73.15	5.95	38.45	35.22
9	73.28	5.96	38.43	35.22
10	73.33	5.96	38.43	35.25
11	73.34	5.96	38.53	35.33
12	73.28	5.96	38.01	35.23
13	73.39	5.97	37.65	35.23
14	73.38	5.97	37.75	35.27
15	73.39	5.97	37.48	35.26
16	73.28	5.96	37.43	35.18
17	73.18	5.95	37.49	35.18
18	73.23	5.95	37.50	35.23
19	73.33	5.96	37.47	35.27
20	73.34	5.96	37.39	35.18
21	73.37	5.97	37.46	35.19
22	73.23	5.95	37.46	35.21
23	73.06	5.94	37.50	35.24
24	73.30	5.96	37.32	35.22

**Tabla 28. Mediciones del Chip B**

Time (s)	Initial Vout (mv)	Vout (mv) -7mT	Demag 1 (mv)	Vout after 12h (mv)
1	36.19	75.88	38.96	33.15
2	36.17	75.54	38.89	33.19
3	35.43	73.54	37.38	33.14
4	34.23	73.22	35.62	33.17
5	34.19	73.46	36.07	33.11
6	34.26	73.86	36.59	33.12
7	34.27	73.80	36.42	33.04
8	34.32	73.78	36.57	33.00
9	34.22	73.74	36.62	33.06
10	34.16	73.84	36.61	33.06
11	34.22	73.75	36.53	32.96
12	34.17	73.69	36.58	33.00
13	34.09	73.71	36.56	32.92
14	34.12	73.70	36.48	33.02
15	34.06	73.68	36.48	32.97
16	34.11	73.68	36.52	32.92
17	34.08	73.68	36.45	32.85
18	33.99	73.72	36.41	32.91
19	33.99	73.71	36.36	32.88
20	34.03	73.66	36.41	32.89
21	34.02	73.57	36.35	32.84
22	33.94	73.59	36.35	32.81
23	33.94	73.56	36.39	32.88
24	33.95	74.46	36.33	32.81

**Tabla 29. Mediciones del Chip D**

Time (s)	Initial MF (uT)	Initial MF	MF (uT) -7mT	MF after 12h (uT)
1	2.73	3.02	6.09	3.09
2	2.75	3.03	6.09	3.10
3	2.66	3.03	6.09	3.10
4	2.65	3.03	6.08	3.10
5	2.67	3.02	6.09	3.10
6	2.68	3.02	6.09	3.11
7	2.68	3.02	6.09	3.10
8	2.68	3.02	6.09	3.10
9	2.68	3.02	6.10	3.11
10	2.68	3.02	6.10	3.11
11	2.69	3.01	6.10	3.11
12	2.68	3.02	6.10	3.11
13	2.68	3.02	6.10	3.11
14	2.67	3.02	6.09	3.11
15	2.68	3.02	6.10	3.11
16	2.68	3.02	6.09	3.12
17	2.68	3.02	6.09	3.11
18	2.68	3.02	6.09	3.11
19	2.68	3.01	6.10	3.12
20	2.68	3.02	6.10	3.12
21	2.68	3.02	6.10	3.13
22	2.68	3.02	6.11	3.13
23	2.68	3.03	6.10	3.12
24	2.68	3.02	6.09	3.13

**Tabla 30. Mediciones del Chip E**

Time (s)	Initial Vout (mv)	Vout (mv) -7mT	Demag 1 (mv)	Vout after 12h (mv)
1	32.96	80.01	38.75	31.23
2	33.11	79.54	38.66	31.39
3	32.98	78.26	38.54	31.30
4	33.07	78.36	38.25	31.38
5	33.06	80.14	38.14	31.29
6	33.04	80.13	37.97	31.32
7	33.13	80.11	37.90	31.31
8	33.02	79.99	37.06	31.29
9	33.08	80.05	36.73	31.28
10	33.17	80.12	36.66	31.25
11	33.09	80.06	36.70	31.36
12	33.17	80.07	36.79	31.33
13	33.22	80.06	36.80	31.39
14	33.13	80.01	36.84	31.32
15	33.25	80.05	36.80	31.37
16	33.26	80.10	36.78	31.36
17	33.27	80.13	36.82	31.34
18	33.25	80.08	36.77	31.49
19	33.32	80.14	36.87	31.42
20	33.27	80.14	36.85	31.38
21	33.30	80.05	36.94	31.45
22	33.26	80.07	36.99	31.49
23	33.31	80.00	36.92	31.50
24	33.33	80.08	36.87	31.34

**Tabla 31. Mediciones del Chip F**

Time (s)	Initial Vout (mv)	Vout (mv) -7mT	Demag 1 (mv)	Vout after 12h (mv)
1	38.16	76.20	34.27	31.23
2	38.09	76.05	34.36	31.39
3	38.17	74.82	34.37	31.30
4	37.96	74.99	34.33	31.38
5	36.97	75.08	34.29	31.29
6	37.61	74.89	34.19	31.32
7	37.78	74.84	34.13	31.31
8	37.48	74.86	34.30	31.29
9	37.40	74.87	34.10	31.28
10	37.43	74.71	34.20	31.25
11	37.42	74.78	34.28	31.36
12	37.50	74.62	34.34	31.33
13	37.25	74.58	34.22	31.39
14	37.45	74.71	34.05	31.32
15	37.29	74.75	34.31	31.37
16	37.21	74.82	34.24	31.36
17	37.32	74.85	34.27	31.34
18	37.67	74.60	34.15	31.49
19	37.20	74.94	34.42	31.42
20	37.31	74.82	34.19	31.38
21	37.12	74.93	34.20	31.45
22	37.35	73.77	34.39	31.49
23	37.18	73.44	34.25	31.50
24	37.18	73.59	34.11	31.34

En la tabla 25 sensor DRV421, las mediciones mostradas son las primeras 22 de las 60 totales y para la tabla 26 son los valores de las primeras 24 de las 50 totales que muestra la figura 74.

Para los 6 diferentes chip (A, B, C, D, E, F) los valores observables son 24 del los 50 totales tomados con cada uno.

## ANEXO 5. MEDICIÓN CON 6 DIFERENTES CHIPS

**Tabla 32. Mediciones antes de aplicar los 10mT**

Chip	V1K AVG (mV)	MF AVG (uT)	V1K MIN(mV)	MF MIN (uT)	V1K MAX(mV)	MF MAX (uT)
A	5.11	0.415253049	1.69	0.13715747	8.10	0.658920147
B	-14.52	-1.180568269	-25.04	-2.035927	-0.40	-0.032169114
C	10.25	0.833040192	2.87	0.23318004	14.64	1.190297846
D	14.31	1.163474439	6.19	0.50353876	22.00	1.788257236
E	5.03	0.40869327	1.22	0.09915783	12.01	0.976303488
F	-2.63	-0.214141436	-13.05	-1.061382	14.35	1.16660022

**Tabla 33. Mediciones después de aplicar los 10mT**

Chip	V1K AVG (mV)	MF AVG (uT)	V1K MIN(mV)	MF MIN (uT)	V1K MAX (mV)	MF MAX (uT)
A	-0.42	-0.034520347	-10.32	-0.8388698	7.13	0.580072405
B	-10.32	-0.83886978	-26.20	-2.1299033	-3.85	-0.313086731
C	7.45	0.605577768	0.46	0.0370901	12.22	0.993783195
D	10.24	0.832517949	19.52	1.58681652	19.52	1.58681652
E	1.15	0.093192122	10.07	0.81859159	11.67	0.948724593
F	1.15	0.093192122	10.07	0.81859159	10.07	0.818591585

**Tabla 34. Promedio de campo magnético**

	trabajo de prueba	mediciones en el laboratorio	Offset
	MF AVG (uT)	MF AVG (uT)	DMF AVG (uT)
A	-1.954	0.415253049	1.538746951
B	-0.746	-1.180568269	1.926568269
C	0.102	0.833040192	-0.935040192
D	-1.786	1.163474439	0.622525561
E	-2.49	0.40869327	2.08130673
F	-1.022	-0.214141436	1.236141436

Fuente: Autor

Para las tablas 33, 34, 35 las mediciones se realizaron con los 6 diferentes chips para mayor comprensión de estas, las siglas AVG (promedio) Y DMF (diferencia del campo magnético).

**Tabla 35. Mediciones de ATE**

Chip	ATE	LAB-B	Offset	LAB-A
A	-1.954	-0.41525305	1.53874695	0.03452035
B	-0.746	1.18056827	1.92656827	0.83886978
C	0.102	-0.83304019	-0.93504019	-0.60557777
D	-1.786	-1.16347444	0.62252556	-0.83251795
E	-2.49	-0.40869327	2.08130673	-0.09319212
F	-1.022	0.21414144	1.23614144	-0.09319212

**Tabla 36. Correlación**

Chip	LAB5	LAB3_6	LAB3	ATE5	ATE3_6	ATE3
A	-0.33	-0.47	-0.74	-1.954	-1.184	-0.714
B	-1.33	0.46	-0.28	-0.746	0.056	0.3
C	-0.75	-1.57	-0.38	0.102	-2.182	0.532
D	0.64	0.42	0.96	-1.786	-2.852	-1.234
E	-0.67	-0.75	-0.54	-2.49	-1.422	-1.046
F	-1.00	-0.33	-0.49	-1.022	-0.126	0.342

**Tabla 37. Medición con campo magnético de 5.5V, 3.6V Y 3V**

	MF 5.5V (uT)			MF 3.6V (uT)			MF 3V (uT)		
A	-0.37	0.01	-0.63	-0.06	-0.66	-0.70	-1.00	-0.74	-0.47
B	-1.18	-1.51	-1.30	0.38	0.51	0.47	-0.29	-0.22	-0.35
C	-0.74	-1.18	-0.33	-1.28	-0.58	-2.85	-0.46	-0.29	-0.38
D	0.28	0.86	0.77	0.35	0.35	0.55	1.24	0.61	1.05
E	-0.86	-0.55	-0.59	-0.70	-0.61	-0.94	-0.57	-0.52	-0.52
F	-1.44	-0.99	-0.57	-0.31	-0.32	-0.35	-0.34	-0.69	-0.43

**Tabla 38. Promedio de campo magnético de la tabla 37**

AVG MF 5.5V (uT)	MIN MF 5.5V (uT)	MAX MF 5.5V (uT)	AVG MF 3.6V (uT)	MIN MF 3.6V (uT)	MAX MF 3.6V	AVG MF 3V (uT)
-0.33	-0.63	0.01	-0.47	-0.70	-0.06	-0.74
-1.33	-1.51	-1.18	0.46	0.38	0.51	-0.28
-0.75	-1.18	-0.33	-1.57	-2.85	-0.58	-0.38
0.64	0.28	0.86	0.42	0.35	0.55	0.96
-0.67	-0.86	-0.55	-0.75	-0.94	-0.61	-0.54
-1.00	-1.44	-0.57	-0.33	-0.35	-0.31	-0.49