



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
DIVISIÓN BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): CESAR HERNANDOAPELLIDOS: GONZALEZ GOMEZNOMBRE(S): PAOLA ANDREAAPELLIDOS: RIVERA SUÁREZFACULTAD: INGENIERÍAPLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): GABRIELAPELLIDOS: PEÑA RODRÍGUEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE MAGNETITA EN LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS DE UN MATERIAL A BASE DE RESINA DE POLIÉSTER

## RESUMEN

Se reporta la caracterización de un material compuesto de matriz resina de poliéster con refuerzo partículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Las muestras del material se elaboraron por moldeo en concentraciones de: 60-40, 70-30, 80-20, 90-10 y 100-0 (% en peso); dichas muestras se analizaron desde el punto de vista morfológico, estructural, eléctrico, magnético, térmico y mecánico usando microscopia electrónica de barrido, difracción de rayos X, polarización eléctrica, resistividad volumétrica, magnetización, termogravimetría y resistencia a la tensión y a la flexión. Los resultados permiten establecer que las muestras presentan morfología irregular con presencia de aglomeraciones de partículas de magnetita. El análisis de difracción indica que el porcentaje de cristalinidad aumenta en la medida que se adiciona la concentración de magnetita a las muestras. La caracterización eléctrica del material evidencia que la resistividad volumétrica disminuye conforme la concentración del refuerzo aumenta, mostrando una transición aislante-conductor que se confirma en el ensayo de polarización, con valores de la constante dieléctrica cada vez mayores (mejores niveles de conductividad eléctrica). Por su parte, la caracterización magnética deja en evidencia un aumento lineal de la magnetización de saturación y la susceptibilidad magnética en función de la cantidad de magnetita adicionada a la matriz polimérica, mientras que la coercitividad varia respecto a la temperatura, presentando comportamientos magnéticos blandos ( $T > T_v$ ) y duros ( $T < T_v$ ).

PALABRAS CLAVE: Materiales compuestos, magnetita, polarización eléctrica, resistividad volumétrica, comportamiento magnético.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 183 PLANOS:     ILUSTRACIONES:     CD ROOM: 1

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE MAGNETITA EN LAS PROPIEDADES  
ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS DE UN MATERIAL A BASE DE RESINA DE POLIÉSTER

CESAR HERNANDO GONZALEZ GOMEZ

PAOLA ANDREA RIVERA SUÁREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2015

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE MAGNETITA EN LAS PROPIEDADES  
ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS DE UN MATERIAL A BASE DE RESINA DE POLIÉSTER

CESAR HERNANDO GONZALEZ GOMEZ

PAOLA ANDREA RIVERA SUÁREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Industrial

Director

GABRIEL PEÑA RODRÍGUEZ

MSc. Física, Ph.D. Ingeniería de Materiales

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2015

## **AGRADECIMIENTOS**

- Al Dr. Gabriel Peña Rodríguez, por el aporte de sus conocimientos y su colaboración incondicional en la realización del presente proyecto.*
- Al Dr. Jairo Roa Rojas - Investigador Senior (IS) y al MSc. Andrés Garzón, por su colaboración en la realización de las medidas de polarización eléctrica y resistividad volumétrica del material, y así mismo, por su acompañamiento y orientación en el análisis de los resultados.*
- Al Dr. Carlos Arturo Parra - Investigador Junior (IJ) y al grupo de investigación en física de materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja, por su apoyo en la realización de los ensayos de caracterización magnética de las muestras.*
- Al Dr. David Arsenio Landínez Téllez - Investigador Senior (IS), por su colaboración para llevar a cabo la caracterización estructural de las muestras.*
- Al Ing., Holger Cagua, encargado del Laboratorio de Materiales de la Universidad de Pamplona sede Pamplona, por su colaboración en la realización de los ensayos de tensión y flexión.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este logro para la Gloria de Mi Padre Celestial y de Mi Madre Santísima Virgen María Auxiliadora por otorgarme el don del discernimiento para afrontar cada situación presentada en esta importante etapa de mi vida.*

*A la unión de mis Padres “Victor Manuel Gonzalez Ballesteros y Omaira Gomez Nieto” porque soy fruto de su amor y entrega; a ellos todo mi respeto y admiración.*

*A mis hermanitos “Daniel, David, José y Manuel” porque han sido mi mayor ejemplo a seguir a través de las adversidades; ya que con su amor fraterno me han demostrado lo importante de vivir en familia.*

*A mi hermanita “Silvia Rocío”, porque representa mi mayor alegría y orgullo; su amor incondicional y entrega sin medida me han permitido ser mejor cada día.*

*A mi abuelita “Estella Nieto” por ser mi viejita adorada porque en cada una de sus caricias encontraba la paz y al amor desinteresado de Dios.*

*A la memoria de Mi abuelo “Ananías de Jesús Gomez” por habitar en mi corazón cada día de mi vida demostrándome que puedo lograr cada reto que se me presente.*

*A mi segundo padre y mejor amigo “Héctor Eugenio Franco Espinel” que en el transcurrir de los años me ha enseñado la importancia de confiar y entregar lo mejor de mí sin esperar nada a cambio.*

*A mi confidente, mi compañera y mi amor “Paola Andrea Rivera Suárez” por agarrar fuertemente mi mano para recorrer juntos el camino venturoso de la vida.*

*Y por último a la luz de mi familia, mi todo, el regalo más hermoso que puede darle un hermano a otro. A ti “Samuelito” el amor de mi vida, te dedico este triunfo para que a través de los tiempos veas en mí, tu guía y apoyo.*

**Cesar Hernando Gonzalez Gomez**

*A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome, dándome fortaleza y todo lo necesario para continuar.*

*A mi familia, en especial a mis padres quienes siempre han creído en mis capacidades y me han brindado todo su amor y su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.*

*A mi novio y compañero de proyecto, por ser fuente de estímulo y apoyo constante, y porque gracias a su esfuerzo y dedicación logramos culminar esta meta trazada.*

*Y por último, a esas personas especiales que sin esperarlo me brindaron una palabra de aliento en momentos de decline y cansancio.*

***Paola Andrea Rivera Suárez***



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: Cúcuta, Septiembre 21 del 2015

HORA: 02:00 p.m.

LUGAR: CREAD SALA 4

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA INDUSTRIAL

Título de la Tesis: "EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE MAGNETITA EN LAS PROPIEDADES ELECTRICAS Y MAGNETICAS DE UN MATERIAL A BASE DE RESINA DE POLIESTER."

Jurados: *Ing. ISMAEL GARCIA PAEZ*  
*Ing. PATRICIA RAMIREZ DELGADO*  
*Lic. ANA MILENA GÓMEZ SOTO*

Director: GABRIEL PEÑA RODRIGUEZ

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
CESAR HERNANDO GONZALEZ GOMEZ	1190746	CUATRO, OCHO	4.8
PAOLA ANDREA RIVERA SUAREZ	1190823	CUATRO, OCHO	4.8

**MERITORIA**

*Ing. ISMAEL GARCIA PAEZ*

*Ing. PATRICIA RAMIREZ DELGADO*

*Lic. ANA MILENA GÓMEZ SOTO*

*Patricia Ramirez D*  
Vg.Bo. ROSA PATRICIA RAMIREZ  
Coordinadora Comité Curricular  
Ingeniería Industrial

## Contenido

	pág.
Introducción	20
1. Problema	22
1.1. Título	22
1.2. Planteamiento del Problema	22
1.3. Formulación del Problema	23
1.4. Justificación	23
1.5. Objetivos	24
1.5.1. Objetivo General	24
1.5.2. Objetivos Específicos	24
1.6. Delimitaciones	25
1.6.1. Delimitación Espacial	25
1.6.2. Delimitación Temporal	25
1.7. Alcances y Limitaciones	25
1.7.1. Alcances	25
1.7.2. Limitaciones	25
2. Marco Referencial	26
2.1. Antecedentes	26
2.2. Marco Contextual	28
2.3. Marco Teórico	29



2.3.1. Resinas de Poliéster	29
2.3.1.1. <i>Resina Poliéster M-30</i>	30
2.3.1.2. <i>Resina Poliéster MF-300</i>	30
2.3.1.3. <i>Catalizadores</i>	30
2.3.1.4. <i>Matrices Poliméricas</i>	30
2.3.1.5. <i>Matrices Termoestables</i>	30
2.3.2. Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	32
2.3.3. Medidas de Polarización Eléctrica	35
2.3.3.1. <i>Sistema de Tierra Virtual</i>	37
2.3.4. Medidas de Resistividad Volumétrica	38
2.3.5. Medidas de Magnetización a Temperatura Ambiente y en Función de la Temperatura	39
2.3.6. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	42
2.3.7. Costos de Fabricación	43
2.4. Marco Conceptual	44
2.5. Marco Legal	46
3. Diseño Metodológico	48
3.1. Tipo de Investigación	48
3.2. Población y Muestra	50
3.2.1. Población	50
3.2.2. Muestra	50
3.3. Instrumentos para la Recolección de la Información	50
3.3.1. Fuentes Primarias	50

3.3.2. Fuentes Secundarias	50
3.4. Análisis de la Información	50
4. Preparación de las Muestras	52
4.1. Obtención de los polvos de magnetita	52
4.2. Obtención de la Resina de Poliéster	52
5. Elaboración de las Probetas	54
5.1. Fabricación de los moldes para probetas de ensayo	54
5.2. Cantidades requeridas para la elaboración de Probetas	54
5.3. Protocolo para el conformado de las probetas	56
5.4. Rotulación de las Probetas	56
5.5. Mediciones Previas	57
6. Caracterización Eléctrica	58
6.1. Medidas de Polarización Eléctrica	58
6.2. Medidas de Resistividad Volumétrica	63
7. Caracterización Magnética	69
7.1. Medidas de Magnetización a Temperatura Ambiente y en Función de la Temperatura	69
8. Caracterización Morfológica	87
8.1. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM - EDS)	87
9. Caracterización Estructural	97
9.1. Difracción de rayos X (DRX)	97
10. Caracterización Térmica	113

10.1. Análisis Termogravimétrico (TGA)	113
11. Caracterización Mecánica	120
11.1. Resistencia mecánica a la tensión	120
11.2. Resistencia mecánica a la flexión	127
12. Evaluación de los materiales compuestos obtenidos	132
12.1. Análisis de costos de producción del material a nivel de Laboratorio	132
12.2. Análisis comparativo con otros materiales	134
12.3. Selección del material compuesto con mejores propiedades	149
13. Ficha Técnica	153
14. Conclusiones	155
15. Recomendaciones	158
Bibliografía	159
Anexos	176