



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
DIVISIÓN BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



### RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JOHN JAIRO APELLIDOS: CASTRO MALDONADO

NOMBRE(S): \_\_\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_\_\_

NOMBRE(S): \_\_\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_\_\_

FACULTAD: \_\_\_\_\_ CIENCIAS BÁSICAS

PLAN DE ESTUDIOS: MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

DIRECTOR:

NOMBRE(S): HECTOR JAIME APELLIDOS: DULCÉ MORENO

NOMBRE(S): \_\_\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_\_\_

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EFFECTOS DE LA NITRURACIÓN POR  
IMPLANTACIÓN EN ALAMBRE DE ACERO RECUBIERTO CON ZINC EMPLEADO  
COMO REFUERZO EN LOS CONDUCTORES DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA

#### RESUMEN

En ambientes tropicales, la diversidad de los factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa, la deposición de contaminantes ambientales por ejemplo sulfatos y cloruros, afectan en gran proporción materiales expuestos a la intemperie, y uno de los fenómenos que se presenta, en el caso de los metales y aleaciones, es la corrosión electroquímica (Molina J. D. & Villada F., 2011) (Vera R, Guerrero F. & Delgado D, Araya R, 2009) (Gonzalez. D, Vargas. H. & Cárdenas, 2005). Por esto es importante estudiar dicho comportamiento concretamente en el acero recubierto con zinc, ya que este material es muy utilizado por su economía en la parte industrial, como parte estructural en puentes colgantes (D, Marcolin., 2004) y específicamente en el área del transporte de la energía eléctrica. El acero recubierto con zinc constituye un elemento importante en la parte estructural de las redes, es decir, es el que soporta todos los esfuerzos producidos por los vientos y el peso de la misma línea. Por ende todas las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica están básicamente compuestas de alambre ACSR (Conductor de aluminio reforzado con acero recubierto con zinc)

Teniendo en cuenta la viabilidad al aplicar la nitruración para este tipo de material, se busca identificar los parámetros electroquímicos necesarios, de tal forma que permita identificar las condiciones en las que esté presente un buen desempeño en ambientes de trabajo fuerte.

PALABRAS CLAVE: NITRURACIÓN, CORROSIÓN, CIRCUITOS, ESPECTROSCOPIA

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 140

PLANOS: \_\_\_\_

ILUSTRACIONES: \_\_\_\_

CD ROOM: 1

**EFFECTOS DE LA NITRURACIÓN POR IMPLANTACIÓN EN ALAMBRE DE ACERO  
RECUBIERTO CON ZINC EMPLEADO COMO REFUERZO EN LOS  
CONDUCTORES DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA**

**JOHN JAIRO CASTRO MALDONADO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES  
SAN JOSE DE CUCUTA**

**2014**

**EFFECTOS DE LA NITRURACIÓN POR IMPLANTACIÓN EN ALAMBRE DE ACERO  
RECUBIERTO CON ZINC EMPLEADO COMO REFUERZO EN LOS  
CONDUCTORES DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA**

**JOHN JAIRO CASTRO MALDONADO**

*Trabajo de Investigación presentado para optar el Título de Magíster en Ciencia y tecnología  
de materiales*

**DIRECTOR**

**HECTOR JAIME DULCÉ MORENO**

**Doctor en Ciencias Naturales - Física**

**UNIVERSIDAD RANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES**

**SAN JOSE DE CUCUTA**

**2014**



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 24 DE ABRIL 2014

HORA: 4:00 p.m.

LUGAR: SALA DE JUNTAS DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

PLAN DE ESTUDIOS: MAestrÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

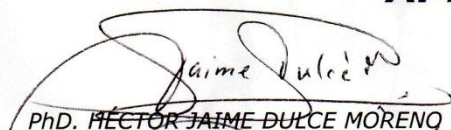
Título del Trabajo de Investigación: "EFECTOS DE LA NITRURACIÓN POR IMPLANTACIÓN EN ALAMBRE DE ACERO RECUBIERTO CON ZINC EMPLEADO COMO REFUERZO EN LOS CONDUCTORES DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA"

Jurados: Ph.D. HÉCTOR JAIME DULCE MORENO  
Ph.D. GABRIEL PEÑA RODRÍGUEZ  
MSc. GERMAN JOSÉ CONTRERAS DE LA OSSA

Director: Ph.D. HÉCTOR JAIME DULCE MORENO

Nombre del estudiante:	Código	Calificación	
		Letra	Número
JOHN JAIRO CASTRO MALDONADO	1380010	Cuatro Dos	4.2

### APROBADA

  
Ph.D. HÉCTOR JAIME DULCE MORENO

  
Ph.D. GABRIEL PEÑA RODRÍGUEZ

  
MSc. GERMAN JOSÉ CONTRERAS DE LA OSSA

Vo.Bo VICTOR JULIO USECHE ARCINIEGAS  
Coordinador Comité Curricular  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al darme los medios necesarios para continuar mi formación como profesional, y ser un apoyo incondicional ya que sin él no lo hubiera podido lograr.

A mi padre que ya partió a la presencia del Altísimo, dedicarle este presente documento quien permanentemente me apoyó con su espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr mis metas y objetivos propuestos y que con su ejemplo me enseñó a ser perseverante y me dio la fuerza que me impulsó a conseguirlo.

A mi familia, mi madre Stella Maldonado y hermana que me acompañaron a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar y me dieron momentos de ánimo así mismo ayudándome en lo que fuera posible, dándome consejos y orientación, estoy muy agradecido, especialmente a mi mamá gracias.

A mi novia Laura Milena Vega por haber estado en los momentos difíciles y apoyarme de una u otra forma cuando más lo necesitaba al darme palabras de aliento Gracias.

A mi tutor, Doctor Hector Jaime Dulcé, el cual cumplió a cabalidad el papel de orientador en este proceso y al Señor Coordinador de industria del SENA Jorge Enrique Rubio Ferrero, que con su apoyo me permitió continuar y finalizar mis estudios.

A la Universidad Militar Nueva Granada y en especial al Doctor William Aperador, por su colaboración en la realización de los ensayos EIS y asesoría en el trabajo.

Con mucho cariño,

**John Jairo Castro Maldonado**

## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
INTRODUCCION	13
1. EFECTOS DE LA NITRURACIÓN POR IMPLANTACIÓN EN ALAMBRE DE ACERO RECUBIERTO CON ZINC EMPLEADO COMO REFUERZO EN LOS CONDUCTORES DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA	15
1.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	15
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. DELIMITACIONES	19
4. REFERENTES TEÓRICOS	20
4.1 ANTECEDENTES	20
5. MARCO TEÓRICO	22
5.1 MATERIALES CONDUCTORES ELÉCTRICOS	22
5.2 REDES DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	24
5.3 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	25
5.4 CONDUCTORES DE ALUMINIO DESNUDO	26
5.4.1 Descripción.	28
5.4.2 Usos y Aplicaciones.	28
5.5 GALVANIZACIÓN EN CALIENTE	28
5.5.1 El zinc como metal protector.	29
5.6 NITRURACIÓN	33
5.7 NITRURACIÓN IÓNICA	35
5.8 EVOLUCIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS.	37
5.9 ENSAYOS PARA EL ESTUDIO DE LA CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA	44
5.9.1 Espectroscopia de impedancia electroquímica.	44
5.9.2 Presentación de los datos.	46
5.9.3 Gráfico Nyquist.	47
5.9.4. Gráficos Bode.	48

5.9.5. Análisis de los resultados presentado en la técnica EIS.	51
5.9.6 Circuitos equivalentes para un sistema de corrosión.	51
5.9.7 Análisis mediante circuitos eléctricos equivalentes.	53
5.9.8 Gravimetría	57
5.9.9 Variación de las propiedades mecánicas.	59
5.9.10 La Microscopia Electrónica de Barrido.	59
5.9.11 Técnicas de Vacío.	63
5.9.12 Sistemas de bombas de vacío en los microscopios.	63
5.9.13 Fuentes de iluminación.	69
5.9.14 Técnicas electroquímicas.	72
5.9.15 Células de 3 electrodos.	75
5.9.16 Expresiones típicas de la velocidad de corrosión.	77
5.9.17 Diagrama de Evans – Tafel.	78
5.9.18 Pasividad.	82
5.9.19 Curva de polarización de Pasividad.	82
5.9.20 Zona activa.	83
5.10 DISEÑO EXPERIMENTAL	86
6. MARCO LEGAL	94
7. METODOLOGÍA	95
7.1 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE LA PRUEBA PILOTO	95
7.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE LA PRUEBA OFICIAL	99
7.3 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	101
8. RESULTADOS	107
8.1 PRUEBA PILOTO	107
8.2 PRUEBA OFICIAL	111
8.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA OFICIAL	132
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	137