



**BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS**  
**RESUMEN TESIS DE GRADO**



**AUTORES:**

**NOMBRE:** RAYMOND JOSÉ      **APELLIDOS:** LINARES CUERVO  
**NOMBRE:** FERNANDO      **APELLIDOS:** CONTRERAS ATUESTA

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**DIRECTOR:**

**NOMBRE (S):** JOHNNY OMAR      **APELLIDOS:** MEDINA DURAN.

**TITULO DE LA TESIS (TESIS):** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE FRENADO REGENERATIVO, PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

**RESUMEN**

El objetivo de ésta investigación, fue diseñar e implementar un módulo de frenado regenerativo. Para diseñar este módulo se realizaron pruebas funcionales a un motor de inducción tipo jaula de ardilla de  $\frac{3}{4}$  de HP, con la finalidad de obtener los parámetros de su circuito equivalente y función de transferencia, posteriormente se diseñó un variador de frecuencia trifásico, controlado mediante la tarjeta C2000 LAUNCHPAD XL con procesador TMS320F28027F.

Consecuentemente se diseñó una interface en visual BASIC, con puerto de comunicación, para que el estudiante tenga la oportunidad de operar las variables que contiene el modulo, Así mismo, se realizó una simulación y depuración del código fuente para verificar su funcionamiento; finalmente se construyó un circuito de control y uno de potencia, a los cuales se les realizaron pruebas operativas, para verificar el buen funcionamiento de los mismos.

**Palabras clave:** Regeneración, Inversor.

**CARACTERÍSTICAS PAGINAS:** 134      **PLANOS:**          **ILUSTRACIONES:**          **CD-ROM:** 1

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE FRENADO REGENERATIVO,  
PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD  
FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RAYMOND JOSÉ LINARES CUERVO.

FERNANDO CONTRERAS ATUESTA.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
SAN JOSE DE CUCUTA

2015

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE FRENADO REGENERATIVO, PARA  
EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO  
DE PAULA SANTANDER.

RAYMOND JOSÉ LINARES CUERVO.

FERNANDO CONTRERAS ATUESTA.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director:

MSC. ING. JOHNNY OMAR MEDINA DURAN.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

SAN JOSE DE CUCUTA

2015



**ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO  
MODALIDAD INVESTIGACIÓN**

**FECHA:** JUEVES 27 DE AGOSTO DE 2015

**HORA:** 04:50 P.M

**LUGAR:** SALA DE JUNTAS DPTO. DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

**TITULO DEL TRABAJO DE GRADO:** "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE FRENADO REGENERATIVO, PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER".

**JURADOS:** M.Sc. GERMÁN GALLEGO  
M.Sc. JOSÉ ARMANDO BECERRA VARGAS

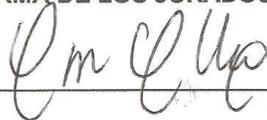
**DIRECTOR:** M.Sc. JOHNNY OMAR MEDINA DURÁN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CÓDIGO	CALIFICACIÓN
RAYMOND JOSÉ LINARES CUERVO	1090333	4.2
FERNANDO CONTRERAS ATUESTA	0090613	4.2

**OBSERVACIONES:**

**APROBADA**

**FIRMA DE LOS JURADOS:**

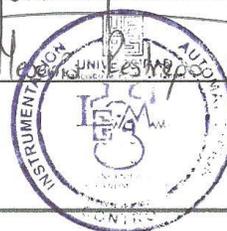
  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

VoBo. Coordinador Comité Curricular

  
\_\_\_\_\_

Claudia M.



## **Dedicatoria.**

A Dios por darnos nuestras vidas, sabiduría y la fuerza para alcanzar ésta meta.

A mi madre Carmen Alicia cuervo y mi abuela Cosmelina Ferreira Mendoza, tíos y primos por todo el amor y apoyo incondicional a la hora de cumplir las metas trazadas. Sus consejos, ejemplo y ayuda desinteresada contribuyeron enormemente en mi formación como persona.

**Raymond José linares cuervo**

## **Dedicatoria.**

A Dios por darnos nuestras vidas, sabiduría y la fuerza para alcanzar ésta meta.

A mi madre Ramona Atuesta y hermanos(a), por todo el amor y apoyo incondicional a la hora de cumplir las metas trazadas. Sus consejos, ejemplo y ayuda desinteresada contribuyeron enormemente en mi formación como persona.

**Fernando Contreras Atuesta.**

## **Agradecimientos.**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradecemos a nuestro director de t3pico, Msc Johnny Omar Medina Duran, nuestras familias, CONTRERAS ATUESTA Y CUERVO FERREIRA, nuestro compa1ero Luis Eduardo Amaya e ingenier3a Gloria Esmeralda, quienes a lo largo de este tiempo han puesto a prueba sus capacidades, conocimientos y ayuda en el desarrollo de este proyecto el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A nuestros padres quienes a lo largo de toda nuestras vidas han apoyado y motivado nuestra formaci3n acad3mica. A todos los profesores a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, a nuestros jurados, ingeniero Armando Becerra e ingeniero German Gallego, gracias a su paciencia y ense1anza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a j3venes como nosotros, prepar3ndonos para un futuro competitivo y form3ndonos como personas de bien.

## Contenido.

Introducción.	3
1 Problema.	4
1.1 Título.	4
1.2 Planteamiento del problema.	4
1.3 Formulación del problema.	4
1.4 Justificación.	5
1.4.1 Beneficios científicos.	5
1.4.2 Beneficios tecnológicos.	5
1.4.3 Beneficios institucionales.	6
1.5 Objetivos.	6
1.5.1 Objetivo general.	6
1.5.2 Objetivos específicos.	6
1.6 Limitaciones.	7
1.7 Delimitaciones.	7
1.7.1 Delimitación geográfica.	7
1.7.2 Delimitación temporal.	7
1.7.3 Delimitación conceptual.	8
2. Marco referencial.	8
2.1 Antecedentes.	8
2.2 Marco teórico.	11
2.2.1. Sistemas de control.	11
2.2.2. Microcontrolador.	23

2.2.3 Motor de inducción.	27
2.2.4 El variador de frecuencia.	43
2.2.5 Modulación de ancho de pulso (pwm).	57
2.2.6 Frenado regenerativo.	58
2.3 Marco legal.	60
3. Diseño metodológico.	62
3.1 Tipo de investigación.	62
3.2 Población y muestra.	63
3.2.1 Población.	63
3.2.2 Muestra.	63
3.3 Instrumentos para la recolección de información.	63
3.3.1 Observación documental.	64
3.3.2 Observación directa.	64
3.4 Fases de la investigación.	65
4. Diseño y construcción.	67
4.1 Diseño de circuito de potencia y control.	67
4.1.1 Circuito de potencia.	67
4.1.2 Implementación de el convertidor ca /cd.	69
4.1.3 Diseño de etapa de control.	69
4.1.4 Diseño y construcción de la etapa de regeneración.	71
5. Análisis e interpretación de resultados.	72
5.1 Características del motor de inducción tipo jaula de ardilla.	72
5.2 Circuito equivalente del motor.	73
5.2.1 Prueba de resistencia en corriente directa.	74
5.2.2 Prueba en vacío.	74

5.2.3 Prueba rotor bloqueado	74
5.3 Curva de par - velocidad del motor	78
5.4 Función de transferencia del motor de corriente alterna	80
5.5 Variables de la función de transferencia	81
5.6 Simulación de la función de transferencia del motor	82
5.7 Modelado mecánico del módulo de frenado regenerativo	84
5.7.1 Torque del motor	84
5.7.2 Relación de transmisión	86
5.8 Cálculo de energía cinética acumulada	86
5.9 Cálculo de la corriente máxima del motor	89
5.10 Diseño de etapa de potencia y control	90
5.11 Voltaje inverso máximo de cada diodo	90
5.12 Cálculo del capacitor	91
5.13 Cálculo del tiempo de carga del condensador	93
5.14 Tabla de resultados	93
6. Administración del proyecto	100
7 Cronograma de actividades	105
8 Conclusiones	106
9 Recomendaciones	108
10 Bibliografía	110
11 Anexos	112