



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## RESUMEN – TESIS DE GRADO

AUTORES: ROSA LILIANA VIVAS AULI

FACULTAD: INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS

TITULO DE LA TESIS: PASANTIA: ESTUDIO DE MÉTODOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DESARROLLO DE CÓDIGOS Y APLICATIVOS EN MATLAB PARA EL MODELAMIENTO DE SISTEMAS BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN, LÓGICA DIFUSA Y REDES NEURONALES

### RESUMEN:

En este proyecto se pretende estudiar y analizar los métodos de inteligencia artificial y desarrollar códigos y aplicativos en MATLAB para la modelación de sistemas inteligentes, en el área de electrónica, basados en árboles de decisión, lógica difusa y redes neuronales. Este proyecto es solo el primer paso en una cadena de proyectos de investigación que permitirán a la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander y en la Pontificia Universidad Javeriana seguir en sus procesos de modernización en sus planes de estudio.

### CARACTERISTICAS:

PAGINAS: 193

PLANOS:

ILUSTRACIONES:

CD-ROM: 1

PASANTIA: ESTUDIO DE MÉTODOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y  
DESARROLLO DE CÓDIGOS Y APLICATIVOS EN MATLAB PARA EL  
MODELAMIENTO DE SISTEMAS BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN,  
LÓGICA DIFUSA Y REDES NEURONALES

ROSA LILIANA VIVAS AULI

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2005

PASANTIA: ESTUDIO DE MÉTODOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y  
DESARROLLO DE CÓDIGOS Y APLICATIVOS EN MATLAB PARA EL  
MODELAMIENTO DE SISTEMAS BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN,  
LÓGICA DIFUSA Y REDES NEURONALES

ROSA LILIANA VIVAS AULI

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Electrónico

Director  
JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS  
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2005



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: Cúcuta, 23 de junio de 2005

HORA: 09:30

LUGAR: Sala 3 - Edificio CREAD

Plan de estudio: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Título de la tesis: "PASANTÍA: ESTUDIO DE MÉTODOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DESARROLLO DE CÓDIGOS Y APLICATIVOS EN MATLAB PARA EL MODELAMIENTO DE SISTEMAS BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN, LÓGICA DIFUSA Y REDES NEURONALES"

Jurados: ARISTÓBULO SIERRA ROJAS  
ARMANDO MALDONADO FUENTES  
JOSÉ RICARDO BERMUDEZ SANTAELLA

Director: JOSÉ ARMANDO BECERRA VARGAS

| Nombre de los estudiantes | Código | Calificación   |        |
|---------------------------|--------|----------------|--------|
|                           |        | Letra          | Número |
| ROSA LILIANA VIVAS AULI   | 160389 | Cuatro, cuatro | 4,4    |

A P R O B A D A

ARISTÓBULO SIERRA ROJAS

ARMANDO MALDONADO FUENTES

JOSÉ RICARDO BERMUDEZ SANTAELLA

Vo. Bc. GERMAN ENRIQUE GALLEGO RODRIGUEZ  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Electrónica

Jeannette C.

Avenida Gran Colombia No. 12e-96 B Colsag Tel. 5753515 - 5776655 Fax (97) 5771988  
CUCUTA - COLOMBIA

*Al amor de Dios por concederme la vida y por estar presente en cada cosa que hago.*

*Al amor de mi madre Katia Auly, que permitió mi visita a este mundo y que ha hecho de mi vida una continua entrega de alegría, apoyo, cariño y esfuerzos.*

*Al amor de mis hermanos Migue, Andres y Cristian, mis almas compañeras en la vida.*

*A Jose Roldan, esposo de mi madre, por su apoyo, cariño, esfuerzos y por mantenerse unido a nuestros calidos corazones como una familia, a pesar de la distancia.*

*A las almas de mi padre Miguel Vivas y de mi gran Amor Sergio Rodríguez, mis ángeles de la guarda, por estar siempre a mi lado y darme la fuerza que necesito para vencer cada obstáculo que se me presenta.*

*A mi abuela Rosalis, por darme el amor y el apoyo de una madre.*

**Liliana**

## **AGRADECIMIENTOS**

El Autor del presente proyecto de grado expresa sus agradecimientos a:

A Dios que me dio la vida y la fortaleza necesaria para la culminación exitosa de este proyecto.

A Nelson Obregón, profesor del departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana, director externo de la pasantía.

A Jose Armando Becerra, profesor del departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander, director interno de la pasantía.

A la Pontificia Universidad Javeriana en particular al departamento de Ingeniería Civil por el invaluable apoyo académico prestado durante la elaboración de esta pasantía.

A Chucho, Aldo, Leonardo Vera, Juan Pablo y Ricardo por la amistad incondicional y el gran apoyo que me han brindado.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN  | 21          |
| 1. EL PROBLEMA  | 23          |
| 1.1 TITULO  | 23          |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                    | 23          |
| 1.3 OBJETIVOS   | 24          |
| 1.3.1 Objetivo general  | 24          |
| 1.3.2 Objetivos específicos                                       | 24          |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN   | 25          |
| 1.4.1 Beneficios para la Pontificia Universidad Javeriana         | 26          |
| 1.4.2 Beneficios para la Universidad Francisco de Paula Santander | 26          |
| 1.5 DELIMITACIÓN  | 26          |
| 1.5.1 Espacial  | 26          |
| 1.5.2 Temporal  | 26          |
| 1.5.3 Conceptual  | 27          |

|   |    |
|---|----|
| 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES   | 27 |
| 1.6.1 Alcances  | 27 |
| 1.6.2 Limitaciones  | 27 |
| 2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS INTELIGENTES                         | 28 |
| 2.1 ANTECEDENTES  | 29 |
| 3. ÁRBOLES DE DECISIÓN  | 37 |
| 3.1 REPRESENTACIÓN DE LOS ÁRBOLES DE DECISIÓN                       | 37 |
| 3.2 PROBLEMAS APROPIADOS PARA EL APRENDIZAJE DE ÁRBOLES DE DECISIÓN | 37 |
| 3.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS ÁRBOLES DE DECISIÓN                         | 38 |
| 3.4 EJEMPLOS DE CONSTRUCCIÓN DE ÁRBOLES DE DECISIÓN                 | 40 |
| 3.5 CÓDIGO DESARROLLADO PARA ÁRBOLES DE DECISIÓN                    | 47 |
| 3.5.1 Interfase grafica   | 47 |
| 3.5.2 Algoritmo de aprendizaje                                      | 48 |
| 3.6 APLICACIONES DE ÁRBOLES DE DECISIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA   | 56 |
| 3.6.1 Inversión de giro de un motor de inducción pasando por paro   | 56 |
| 3.6.2 Detección de obstáculos por medio de un robot                 | 59 |



|   |    |
|---|----|
| 4. LÓGICA DIFUSA                              | 62 |
| 4.1 CONJUNTOS DIFUSOS                         | 63 |
| 4.1.1 Función de Membresía                    | 64 |
| 4.1.2 Operaciones entre conjuntos difusos     | 66 |
| 4.1.3 Números difusos                         | 68 |
| 4.2 PROPOSICIONES DIFUSAS                     | 74 |
| 4.2.1 Variables lingüísticas                  | 74 |
| 4.2.2 Proposiciones condicionales difusas     | 74 |
| 4.2.3 Implicaciones                           | 75 |
| 4.3 SISTEMAS DE LÓGICA DIFUSA                 | 78 |
| 4.3.1 Variables de entrada                    | 79 |
| 4.3.2 Variable de salida                      | 80 |
| 4.3.3 Difusor                                 | 81 |
| 4.3.4 Base de reglas                          | 81 |
| 4.3.5 Motor de inferencia                     | 82 |
| 4.3.6 Evaluación del sistema de lógica difusa | 82 |
| 4.3.7 Concesor                                | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3.8 Salida del sistema   | 83  |
| 4.4 CONTROL POR LÓGICA DIFUSA  | 84  |
| 4.4.1 Estructura de un controlador lógico difuso                                   | 84  |
| 4.4.2 Controlador lógico difuso proporcional                                       | 85  |
| 4.4.3 Controlador lógico difuso proporcional derivativo                            | 86  |
| 4.5 APLICACIONES DE LÓGICA DIFUSA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA                        | 89  |
| 4.5.1 Desarrollo de un controlador industrial mediante algoritmos de lógica difusa | 89  |
| 4.5.2 Control de tráfico   | 97  |
| 5. REDES NEURONALES  | 106 |
| 5.1 REDES NEURONALES BIOLÓGICAS (RNB)  | 106 |
| 5.2 SIMILITUD ENTRE LAS REDES NEURONALES BIOLÓGICAS Y LAS ARTIFICIALES             | 108 |
| 5.3 REDES NEURONALES ARTIFICIALES  | 109 |
| 5.3.1 Perceptrón   | 111 |
| 5.4 ENTRENAMIENTO  | 118 |
| 5.4.1 Regla delta generalizada   | 119 |
| 5.5 APLICACIONES DE LAS REDES NEURONALES   | 133 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.6 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO                                | 134 |
| 5.6.1 Perceptrón sin capa oculta                                | 134 |
| 5.6.2 Perceptrón multicapa                                      | 143 |
| 5.7 APLICACIONES DE REDES NEURONALES EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  | 150 |
| 5.7.1 Implementación de la Compuerta Lógica NAND                | 150 |
| 5.7.2 Implementación de la compuerta lógica XOR                 | 155 |
| 5.7.3 Detección de obstáculos por medio de un robot             | 161 |
| 5.7.4 Control de giro de un motor de inducción jaula de ardilla | 167 |
| 6. METODOLOGIA  | 176 |
| 6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN                                       | 176 |
| 6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA   | 176 |
| 6.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN                                 | 176 |
| 6.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS                            | 177 |
| 6.5 TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN                          | 177 |
| 7. CONCLUSIONES   | 178 |
| 8. RECOMENDACIONES  | 180 |

BIBLIOGRAFÍA

181

ANEXOS

182