



RESUMEN TESIS DE GRADO

AUTOR (ES):

NOMBRE (S): FELIX MAURICIO

APELLIDOS: ESCALANTE ORTEGA

NOMBRE (S): _____

APELLIDOS: _____

FACULTAD: _____ INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: _____ INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE (S): JOHNNY OMAR

APELLIDOS: MEDINA DURAN

TITULO DE LA TESIS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PÉNDULO
INVERTIDO CONTROLADO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

RESUMEN:

Se recopiló, clasificó e ilustró la mayor cantidad de información sobre los temas: inteligencia artificial mediante redes neuronales como sistema de control y péndulo invertido como planta a controlar, con el cual se seleccionó y fijó el tipo de instrumentos necesarios a utilizar en el prototipo del péndulo invertido, además los sensores adecuados para registrar la información y el dispositivo controlador que se adapte al diseño del prototipo. Igualmente, se diseñó la topología de red neuronal, así como su respectivo entrenamiento mediante la herramienta NNTool y Simulink del software Matlab, una vez terminada se generó la rutina de control mediante el software Xilinx ISE a la tarjeta lógica programable FPGA, ensamblando la estrategia de control con el prototipo con el funcionamiento del sistema péndulo invertido. Por ultimo, se promovió y expuso la realización del proyecto frente a la comunidad investigativa y académica a nivel institucional, regional, nacional e internacional mediante la creación de artículos científicos, revistas, congresos o seminarios.

Palabras clave: diseño, implementación, sistema péndulo invertido, redes neuronales artificiales.

CARACTERÍSTICAS:

PAGINAS: 126

PLANOS:

ILUSTRACIONES:

CD-ROM: 1

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PÉNDULO INVERTIDO
CONTROLADO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

FELIX MAURICIO ESCALANTE ORTEGA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2014

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PÉNDULO INVERTIDO
CONTROLADO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

FELIX MAURICIO ESCALANTE ORTEGA

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

Director
JOHNNY OMAR MEDINA DURAN
Magíster en Ingeniería Electromecánica

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2014



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: 20 DE DICIEMBRE 2013

HORA: 11:00 AM

LUGAR: SALA DE JUNTAS DEPARTAMENTO ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO DE LA TESIS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PÉNDULO INVERTIDO CONTROLADO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA).

JURADOS: JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS
JULIÁN FERREIRA JAIMES

DIRECTOR: JOHNNY OMAR MEDINA DURAN

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION NUMERO	LETRA
FÉLIX MAURICIO ESCALANTE ORTEGA	1090266	4,5	CUATRO CINCO

MERITORIA

FIRMA DE LOS JURADOS:


JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS


JULIÁN FERREIRA JAIMES

Vo. Bo. 
IE. PhD. FRANCISCO ERNESTO MORENO G.
Coordinador Comité Curricular



José A. L.

A mis padres Félix M. Escalante Bastos y Luz C. Ortega Peñaranda y hermanos, Duvian Albeiro y Marianella Escalante Ortega, 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.

A la familia, Balaguera Rodríguez, quienes me adoptaron como un miembro más de su familia, apoyándome incondicionalmente en toda mi carrera universitaria.

A la familia, Moncada Contreras, por su ayuda y confianza permanente en momentos difíciles, gracias por su hospitalidad y amabilidad.

Finalmente a todas las personas que de una u otra manera han estado presentes a lo largo de mi vida, compartiendo y ayudando desinteresadamente en mi formación académica y personal.

Mauricio

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Magíster Ingeniero y director de tesis Johnny Omar Medina Duran. Excelente formador, profesional y gran amigo. Muchas gracias por su confianza y apoyo incondicional en la consecución de los objetivos trazados.

A mi compañero y amigo, Fernando Contreras Atuesta, quien se convirtió en el compañero de trabajo incondicional, aunque no aparezca como segundo autor, sin duda alguna lo fue, muchas gracias por compartir todos sus conocimientos conmigo, su ayuda hizo que este proyecto evolucionara permanentemente.

A los jurados del trabajo en mención. Ingenieros José Armando Becerra Vargas y Julián Ferreira Jaimes, por toda su colaboración, disponibilidad, paciencia, correcciones y consejos en momentos necesarios.

A Todos los integrantes del departamento del departamento de electricidad y electrónica, especialmente a los ingenieros con quienes tuve la fortuna de formarme profesionalmente, gracias por compartir su conocimiento y experiencia conmigo, se puede decir que hoy represento un conjunto, conformado por elementos basados en conocimientos que pude extraer de cada uno de ustedes.

A todas las personas que de una u otra manera se vincularon en la elaboración de este proyecto investigativo. Las opiniones, sugerencias, anotaciones, apoyo incondicional y buenos deseos fueron factores determinantes en la elaboración del presente trabajo. Al final del estudio realizado se puede decir que se obtuvo una enorme dosis de conocimiento por la experiencia vivida, además un gran número de personas que para fortuna pude conocer, generando una ganancia social no propuesta ni planteada inicialmente.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	19
1.4 OBJETIVOS	20
2. REFERENTES TEÓRICOS	22
2.1 ANTECEDENTES	22
2.2 MARCO TEÓRICO	26
2.2.1 Péndulo invertido	26
2.2.2 Grados de libertad	30
2.2.3 Sensores	30
2.2.4 Unidad Inercial de Medida (IMU)	31
2.2.5 Actuadores	32
2.2.6 Inteligencia Artificial (IA)	33
2.2.7 Teoría de control	34
2.2.8 Control clásico-moderno	35
2.2.9 Control inteligente	36
2.2.10 Redes neuronales	37
2.2.11 Redes Neuronales Artificiales (RNA)	39

2.2.12 Clasificación de las RNAS	43
2.2.13 Software de modelamiento y simulación	47
2.3 MARCO LEGAL	52
3. METODOLOGÍA	54
3.1 TIPO DE PROYECTO	54
3.2 ACTIVIDADES Y METODOLOGÍAS	54
3.3 METAS Y RESULTADOS ESPERADOS	57
4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	59
4.1 PLANTEAMIENTO	60
4.2 INVESTIGACIÓN	60
4.2.1 Modelos de péndulo invertido sobre dos ruedas	60
4.3 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL PRODUCTO	61
4.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS	62
4.5 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	63
4.6 MODELO FINAL Y PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	64
5. MODELO MATEMÁTICO	66
5.1 VALIDACIÓN DEL SISTEMA CON EL SOFTWARE MATLAB	74
5.2 PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO	78
5.2.1 Obtención de la masa del péndulo (M_p)	79
5.2.2 Obtención de la masa del carro M_c	79
5.2.3 Obtención de la longitud del péndulo L	80
5.3 SIMULACIÓN DE LA PLANTA	80

5.3.1 Linealización de la planta	81
6. DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL	86
6.1 CREACIÓN DE LA RED NEURONAL MEDIANTE LA HERRAMIENTA NNTOOL	87
6.1.1 Número de capas ocultas	87
6.1.2 Número de neuronas ocultas	87
6.1.3 Número de neuronas de salida	87
6.1.4 Funciones de transferencia	88
6.1.5 Entrenamiento de la red	89
7. DISPOSITIVO LÓGICO PROGRAMABLE (FPGA)	97
7.1 ARQUITECTURA DE LA TARJETA NEXYS 2	99
8. COSTOS	103
8.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN	103
8.2 COSTOS DE PRODUCTOS	104
8.3 COSTOS DE MANO DE OBRA	105
8.4 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	105
9. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	106
9.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE RED SELECCIONADA EN XILINX SYSTEM GENERATOR	107
9.1.1 Creación de la red neuronal en System Generator	108
9.2 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR 16F877A	113
9.3 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DESARROLLADOS PARA EL PROTOTIPO FINAL	114
9.4 IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO COMPLEMENTARIO	117

9.4.1 Acelerómetro	117
9.4.2 Giroscopio	117
9.4.3 Integración de las medidas del giroscopio y acelerómetro	118
10. CONCLUSIONES	119
11. RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA	122