



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



RESUMEN TESIS DE GRADO

AUTOR(ES)

NOMBRE: (S): HERNANDO APELLIDOS: MORENO PADILLA

FACULTAD: INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERA ELECTRONICA

DIRECTOR

NOMBRE(S): JORGE HUMBERTO APELLIDOS: ERAZO

TITULO DE LA TESIS: MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE UNA CALDERA ACUTUBULAR UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

RESUMEN

El presente trabajo hace referencia al diseño de una red neuronal artificial para determinar la generación de vapor de una caldera mediante el entrenamiento con datos históricos de operación, con el fin de calcular la cantidad de combustible y aire para obtener una combustión u oxidación completa del combustible con menor exceso de aire. En el diseño de la red se utilizó la topología del Perceptron multicapa al ser una de las más utilizadas y por sus ventajas para este tipo de aplicaciones. Se utilizaron los Algoritmos Genéticos para optimizar este procedimiento y abarcar un amplio rango de probabilidades.

Palabras claves: mejoramiento, proceso, combustión, caldera, acutubular, redes, neuronales.

CARACTERÍSTICAS:

PAGINAS 107 PLANOS: ILUSTRACIONES 37 CD-ROM 1

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE UNA CALDERA
ACUTUBULAR UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

HERNANDO MORENO PADILLA

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA
SANTIAGO DE CALI
2013**

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE UNA CALDERA
ACUTUBULAR UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

HERNANDO MORENO PADILLA

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar al título de Ingeniero Electrónico**

**Director
JORGE ERAZO
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA
SANTIAGO DE CALI
2013**

**CONVENIO
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ
CAMACHO**

ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO 1-2013

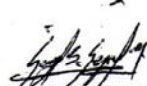
El jurado Académico del programa de Ingeniería Electrónica, conformado para la evaluación de la sustentación del proyecto de grado **MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE UNA CALDERA ACUTUBULAR UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES** presentado por los estudiantes:

Cédula	Nombre	Calificación en letras	Nota
1113628353	HERNANDO MORENO PADILLA	<u>CUATRO PUNTO CUATRO</u>	<u>4.4</u>


Y dirigido por el Ingeniero **JORGE HUMBERTO ERAZO AUX.**


Aprueban la sustentación como requisito para optar el título como Ingeniero Electrónico

Firmado en la ciudad de Cali a los 31 días del mes de Mayo de 2013


ING. SERGIO SEPULVEDA
JURADO 1


JORGE HUMBERTO ERAZO AUX M.Eng
Director Programa Ingeniería Electrónica
Institución Universitaria Antonio José Camacho


ING. CARLOS LINDO RENGIFO
JURADO 2


ING. DINAEL GUEVARA IBARRA Ph.D
Director Plan estudio Ingeniería Electrónica
Universidad Francisco de Paula Santander

Dios por la vida y la sabiduría para realizar este trabajo

A mis padres por su apoyo.

A mis hermanos.

A mi novia por su colaboración

HERNANDO MORENO PADILLA

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Jorge Erazo, Ingeniero en Electrónica, director del proyecto, por su dirección

Narciso Hurtado, Ingeniero en Sistemas, coordinador del área de cogeneración por su colaboración en la obtención de los históricos de las variables que se utilizaron en el entrenamiento de las redes neuronales

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. ANTECEDENTES	19
2. COMBUSTIÓN	23
2.1 COMBUSTIÓN ESTEQUIOMÉTRICA	23
2.1.1 Composición del Aire	23
2.1.2 Coeficiente de exceso de aire	24
2.2 ECUACIONES BÁSICAS DE LA COMBUSTIÓN DEL BAGAZO	26
2.3 DIAGRAMA DE OSTWALD	28
2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	30
2.4.1 Bagazo de caña de azúcar	30
2.4.2 Composición física del bagazo	30
2.4.3 Caracterización física del bagazo del Ingenio	30
2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO	33
2.5.1 Composición elemental del bagazo	33
2.5.2 Composición técnica aproximada	35
2.5.3 Poder calorífico del bagazo	36
2.5.4 Poder calorífico superior (pcs)	37
2.5.5 Poder calorífico inferior (pci)	37
3. REDES NEURONALES	40

3.1	DEFINICIONES DE UNA RED NEURONAL	40
3.2	VENTAJAS QUE OFRECEN LAS REDES NEURONALES	40
3.2.1	Aprendizaje adaptativo	41
3.2.2	Auto-organización	42
3.2.3	Tolerancia a fallos	42
3.2.4	Operación en tiempo real	43
3.2.5	Fácil inserción dentro de la tecnología existente	43
3.3	ELEMENTOS BÁSICOS QUE COMPONEN UNA RED NEURONAL	43
3.3.1	Función de entrada	45
3.3.2	Función de activación	45
3.3.3	Función de salida	46
3.4	PERCEPTRÓN MULTICAPA	46
3.5	DISEÑO DE UNA RED NEURONAL – PERCEPTRÓN MULTICAPA	47
3.5.1	Recolección y procesamiento de los datos de entrenamiento	48
3.5.2	Creación de la red neuronal	48
3.6	CONFIGURACIÓN DE LA RED NEURONAL	49
4.	ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)	51
4.1	COMPONENTES	52
4.1.1	Tamaño de la población	52
4.1.2	Población inicial	52
4.1.3	Función objetivo	53
4.1.4	Selección	53

4.1.5 Cruce	53
4.1.6 Mutación	53
5. IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DE LA CALDERA	54
5.1 SELECCIÓN DE LAS VARIABLES MÁS RELEVANTES DEL PROCESO	54
5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA	55
5.3 SELECCIÓN DEL MODELO DE IDENTIFICACIÓN	56
5.4 DISEÑO Y VALIDACIÓN DEL MODELO	57
6. DISEÑO DEL EXPERIMENTO	58
6.1 EXPERIMENTOS	60
6.2 PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN CON ALGORITMOS GENÉTICOS EN LOS EXPERIMENTOS	61
6.2.1 Número de nodos de la capa oculta con Algoritmos Genéticos	61
6.2.2 Selección de la función de activación por algoritmos genéticos	62
6.2.3 Selección del método de entrenamiento por algoritmos genéticos	62
6.3 ALGORITMO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS 1, 2, 3, 4,9 Y 10	62
6.4 ALGORITMO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS 5, 6, 7 Y 8	64
6.5 EXPERIMENTO 1. SELECCIÓN DE NÚMERO DE NEURONAS EN LA CAPA OCULTA CON ALGORITMOS GENÉTICOS, NORMALIZACIÓN POR MÁXIMOS Y MÍNIMOS	65
6.6 EXPERIMENTO 2. SELECCIÓN DE NÚMERO DE NEURONAS EN LA CAPA OCULTA CON ALGORITMOS GENÉTICOS, NORMALIZACIÓN POR MEDIA 0 Y VARIANZA 1	66
6.7 EXPERIMENTO 3. SELECCIÓN DE NÚMERO DE NEURONAS EN LA CAPA OCULTA, ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN CON ALGORITMOS GENÉTICOS, NORMALIZACIÓN POR MÁXIMOS Y MÍNIMOS	68

6.8 EXPERIMENTO 4. SELECCIÓN DE NÚMERO DE NEURONAS EN LA CAPA OCULTA, ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN CON ALGORITMOS GENÉTICOS, NORMALIZACIÓN POR MEDIA 0, VARIANZA 1	69
6.9 EXPERIMENTO 5. SELECCIÓN DE NÚMERO DE NEURONAS EN LA CAPA OCULTA CON ALGORITMOS GENÉTICOS Y GENERALIZACIÓN POR REGULARIZACIÓN DE BAYESIAN	70
6.10 RESULTADOS GENERALES	72
7. DESARROLLO DE SOFTWARE	73
7.1 ESTRUCTURA DEL SOFTWARE	73
7.1.1 Datos de entrada	74
7.1.2 Datos de salida	74
7.2 CÁLCULO DEL FLUJO DE VAPOR (CARGA DE LA CALDERA)	75
7.2.1 Cálculo del combustible requerido	75
7.2.2 Cálculo del flujo de aire	77
7.2.3 Cálculo del CO_2 y CO	78
7.3 PRUEBAS Y RESULTADOS	80
7.3.1 Procedimiento 1. Cálculo relación aire/combustible	80
7.3.2 Procedimiento 2. Determinación de los componentes de la Combustión	82
7.3.3 Procedimiento 3. Prueba de la red neuronal	83
8. INTERFAZ DE USUARIO	87
8.1 GUIDE (<i>Graphical User Interface Development Environment</i>)	87
8.1.1 Utilizando la GUIDE (<i>GUI DevelopmentEnvironment</i>), un kit de GUI de construcción interactiva	88

8.1.2 Creando archivos.m que se crean como funciones o scripts (programación de la construcción GUI	88
8.2 COMPONENTES DE LA GUI	89
8.3 DESARROLLO DE LA GUI	89
8.4 FUNCIONAMIENTO DE LA GUI	92
9. CONCLUSIONES	93
10. RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	98