



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## **RESUMEN – TESIS DE GRADO**

AUTORES JHON JAIRO TORRES PINO Y MIGUEL ANTONIO URANGO SÁNCHEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR FERNANDO FUENMAYOR CASTRO

TITULO DE LA TESIS ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA CALDERA DE 600 BHP DE LABORATORIOS BAXTER

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones de operación actual de la caldera, con el fin de disminuir el consumo de combustible en la operación de la misma e implementar una estrategia para el control de la combustión que garantice una adecuada eficiencia del equipo, llevando registro de las variables que afectan la operación de la caldera. De la misma manera se desarrolló un modelo matemático para la caldera que permita determinar bajo qué condiciones se encuentra trabajando la caldera en un momento determinado.

### **CARACTERÍSTICAS:**

PAGINAS: 81

PLANOS:   

ILUSTRACIONES: 19

CD-ROM   1

**ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA  
EFICIENCIA DE LA CALDERA DE 600 BHP DE LABORATORIOS BAXTER**

**JHON JAIRO TORRES PINO  
MIGUEL ANTONIO URANGO SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ CAMACHO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2009**

**ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA  
EFICIENCIA DE LA CALDERA DE 600 BHP DE LABORATORIOS BAXTER**

**JHON JAIRO TORRES PINO  
MIGUEL ANTONIO URANGO SÁNCHEZ**

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

**Director  
FERNANDO FUENMAYOR CASTRO  
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ CAMACHO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2009**

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

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO 1-2009**

El Jurado Académico del programa de Ingeniería Electrónica, conformado para la evaluación de la sustentación del Proyecto de grado "ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA CALDERA DE 600 BHP DE LABORATORIOS BAXTER", presentado por los estudiantes:

NOMBRE	CALIFICACIÓN EN LETRAS	NOTA
JHON JAIRO TORRES PINO	<u>Cuatro Cuatro</u>	<u>4.4</u>
MIGUEL ANTONIO URANGO SANCHEZ	<u>Cuatro Cuatro</u>	<u>4.4</u>

Y dirigido por el ingeniero **FERNANDO FUENMAYOR CASTRO**

Aprueban la sustentación como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

  
ING. JHON JAIRO RAMIREZ MATEUS  
Jurado

  
ING. JAVIER CASTILLO GARCIA  
Jurado

  
ING. NORMA XIMENA RÍOS COTAZO  
Directora Programa Ingeniería Electrónica

*A Dios por ser mi guía espiritual.*

*A mi esposa Silvia Yaneth Rodríguez Susa.*

*A mi madre Maria Lilia Pino de Torres.*

*A mi hijo Juan David Torres Salinas.*

*A mis hermanos Luis Jaime Torres Pino, Jorge Alberto Torres Pino, Maria Esperanza Torres Pino y Maria Yolanda Torres Pino.*

**JHON JAIRO TORRES PINO**

*A Dios por ser mi guía.*

*A mi esposa Rubiela Arboleda Cañas, por su amor apoyo y compañía.*

*A mis hijos Kelly Jhoana Urango Arboleda y Juan Andrés Urango Arboleda*

*A mis padres Juan Bautista Urango Espitia y Maria Sánchez Ramos*

*A mis hermanos Juan Urango Sánchez, José Joaquín Urango Sánchez, José Delosantos Urango Sánchez, Seferina Urango Sánchez*

**MIGUEL ANTONIO URANGO SÁNCHEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Fernando Fuenmayor Castro, Ingeniero Químico, director de tesis, por su apoyo y dedicación para el desarrollo del proyecto.

Jaime Alberto Guzmán Quintero, por permitirnos realizar el estudio e implementar las mejoras recomendadas durante el desarrollo del proyecto.

Carlos Roncancio Pérez por la colaboración en la medición de variables (caudal del ventilador).

Carlos Felipe Betancourt Guido, Diego Alberto Rivera González, compañeros de trabajo, por la colaboración y voz de aliento para alcanzar este logro.

La comunidad docente y administrativa de la Institución Universitaria Antonio José Camacho, por la orientación y formación profesional en la que resaltaron constantemente los principios éticos y humanos.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	18
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA EMPRESA	19
1.1 DESCRIPCIÓN	19
1.2 DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO	21
1.2.1 Celda seca	21
1.2.2 Celda plástica	21
1.2.3 Celda húmeda	21
1.2.4 Celda de ingeniería	22
1.3 ENTORNO ENERGÉTICO DE LA EMPRESA	22
1.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR	22
2. INFORMACIÓN GENERAL DE CALDERAS	29
2.1 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UNA CALDERA DE VAPOR	29
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS	30

2.2.1 Calderas acuatubulares	30
2.2.2 Calderas pirotubulares	30
2.2.3 Partes principales de una caldera pirotubular	32
3. MODELO MATEMÁTICO DE LA CALDERA DE LABORATORIOS BAXTER	34
3.1 CONDICIONES INICIALES DE LA CALDERA DE 600 BHP	34
3.2 BALANCE DE ENERGÍA DE UN GENERADOR DE VAPOR	38
3.3 BALANCE DE MATERIA DEL DOMO	41
3.4 BALANCE DE ENERGÍA DEL DOMO	43
3.5 ENTALPÍA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN	47
3.6 TEMPERATURA DEL VAPOR EN EL DOMO	47
3.7 MODELO MATEMÁTICO DE LA ZONA DE COMBUSTIÓN	48
3.8 BALANCE DE MATERIA DE LA ZONA DE COMBUSTIÓN	49
3.9 ESTRATEGIA DEL CONTROL DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA	52
3.10 RESPUESTAS DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	55
4. IMPLEMENTACIONES	59

4.1	PÉRDIDAS DE ENERGÍA	59
4.1.1	Exceso de aire	60
4.1.2	Gas caliente de la combustión	60
4.1.3	Purga de calderas	60
4.2	PARÁMETROS DE CONTROL DE COMBUSTIÓN	61
4.2.1	Control de $O_2$ y $CO_2$	61
4.2.2	Control CO	62
4.2.3	Relación entre el exceso de oxígeno y el exceso de aire	62
4.3	IMPLEMENTACION DE MEJORAS	62
4.3.1	Cambio de válvula de combustible	62
4.3.2	Curva de combustión	65
4.3.3	Instalación de variador de velocidad	67
4.3.4	Instalación de conductímetro	69
4.3.5	Instalación de medidor de flujo	69
5.	RESULTADOS	71

5.1 RESPUESTA DE LA PRESIÓN DE LA CALDERA DÁNDOLE UN ESCALÓN DE $\pm 10\%$ AL SETPOINT	73
6. CONCLUSIONES	75
7. RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	78