



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## RESUMEN TESIS DE GRADO

AUTOR(ES)

NOMBRE: (S): JHON FREDDY APELLIDOS: CASTILLO  
NOMBRE: (S): GERSON APELLIDOS: PIEDRAHITA ARREDONDO

FACULTAD: DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR

NOMBRE(S): FERNANDO APELLIDOS: FUENMAYOR

TITULO DE LA TESIS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO VIRTUAL PARA LA OPERACIÓN DE UNA CALDERA

### RESUMEN

El objetivo de este proyecto es mostrar los resultados obtenidos en la simulación del comportamiento dinámico de la caldera de potencia de Carvajal Pulpa y Papel Planta II, evidenciar los procesos básicos de arranque y parada de la caldera, la cual se realizó utilizando el programa I/A de Foxboro. Partiendo de los procesos ya definidos se realiza la configuración de los bloques de control continuo con el ambiente de Ingeniero de Procesos, construyendo el panel de cada controlador, la tendencia histórica de cada variable y las gráficas ilustrativas del proceso en el Ambiente del operador. Se tiene en cuenta la importancia de las estrategias de control en la monitorización y control de optimización del proceso.

**Palabras Claves:** diseño, implementación, modelo, entrenamiento, virtual, caldera.

### CARACTERÍSTICAS:

PAGINAS 80 PLANOS:      ILUSTRACIONES 23 CD-ROM 1

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO  
VIRTUAL PARA LA OPERACIÓN DE UNA CALDERA**

**JOHN FREDY CASTILLO  
GERSON PIEDRAHITA ARREDONDO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2014**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO  
VIRTUAL PARA LA OPERACIÓN DE UNA CALDERA**

**JOHN FREDY CASTILLO  
GERSON PIEDRAHITA ARREDONDO**

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

**Director  
FERNANDO FUENMAYOR  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2014**

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

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO 2-2013**

El jurado Académico del programa de Ingeniería Electrónica, conformado para la evaluación de la sustentación del proyecto de grado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO VIRTUAL PARA LA OPERACIÓN DE UNA CALDERA** presentado por los estudiantes:

Cédula	Nombre	Calificación en letras	Nota
16928173	PIEDRAHITA ARREDONDO GERSON	TRES PUNTO NUEVE	3.9

Y dirigido por el Ingeniero **ING. FERNANDO FUENMAYOR.**

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

Firmado en la ciudad de Cali a los 18 días del mes de Octubre de 2013

  
**ING. BAYRON MEDINA DELGADO**  
JURADO 1

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

  
**ING. JAVIER HUMBERTO CORTES CARVAJAL**  
JURADO 2

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

*En mi caminar puedo observar como Dios cumple el sueño que hay en nuestro corazón y cada paso cada decisión cada pensamiento Él siempre lo tiene en cuenta y una prueba de esto es la culminación de una etapa más en mi vida donde los anhelos de mi corazón se han cumplido, en los momentos más difíciles Su mano me sostenía, en donde pensaba que este sueño debía dejarlo, Él me daba las fuerzas necesarias para seguir luchando y es por eso que mis palabras no alcanzan para agradecer por todos sus favores hacia mí y mi familia.*

*Un agradecimiento a mi esposa por su paciencia, ya que existieron momentos en que sentía su guía su apoyo y sus oraciones que permitían que esta sueño se cumpliera y por todos los momentos que tuvimos que sacrificar.*

*Con todo el amor de un esposo, padre e hijo:*

*A toda mi familia les dedico este logro que fue un sueño desde chico ser un profesional llevado a cabo con la ayuda del señor JESÚS y de todos ellos.*

**GERSON PIEDRAHITA**

*Con todo mi amor, mi pasión y mi cariño:*

*A mi esposa Claudia Andrea Muñoz Alegrías la cual me acompañó durante todo este proceso de formación.*

**JOHN FREDDY CASTILLO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Fernando Fuenmayor, Ingeniero, director del proyecto, por su sencillez, por su entrega, por la dedicación de su tiempo y sus consejos adecuados y oportunos guiándonos a la realización de este proyecto.

Leivis Yesid Posada Valle, Ingeniera, la cual con su conocimiento, perseverancia, dedicación, esfuerzo pudo lograrse esta meta y la cual nos brindó su apoyo y asesoría dedicando gran parte de su tiempo.

Los docentes que hemos tenido la oportunidad de conocer en nuestra trayectoria académica, compartiendo toda su sabiduría.

Los ingenieros Henry Salinas y Darío Torres por su acompañamiento, asesoría y recomendaciones que contribuyeron al buen desarrollo de este trabajo.

La empresa Carvajal Pulpa y Papel por haber permitido el diseño e implementación de un modelo de entrenamiento virtual enfocada a la caldera de potencia de planta dos.

Todas aquellas personas de la Institución Universitaria Antonio José Camacho por su apoyo profesional durante este proceso de formación de alta calidad que forman hombres no solo profesionales si no con ética, honestidad y gran sentido de pertenencia a sus valores sus principios comprometiéndolos ante un sociedad que requiere un cambio.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. EL PROBLEMA	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo general	17
1.2.2 Objetivos específicos	18
2. OPERACIÓN DE LA CALDERA Y SUS CARACTERISTICAS	19
2.1 DEFINICIÓN	19
2.2 FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA	19
2.2.1 Combustión de lecho fluidizado	21
2.2.2 Descripción del hogar de la caldera de lecho fluidizado	24
2.3 FASES EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR	25
2.3.1 Combustión	25
2.3.2 Generación de vapor	28
2.3.3 Control del nivel del domo	31
2.3.4 Control de la altura del lecho	31
2.4 ETAPAS DEL SIMULADOR	31
2.5 MODELOS MATEMÁTICOS DE LA CALDERA	32
2.6 PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS	32



2.6.1 Ecuaciones de energía	32
2.6.2 Leyes de la termodinámica	35
2.7 GENERACIÓN DE VAPOR	37
2.7.1 Nivel y presión del domo	38
2.8 ANTECEDENTES	43
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR	45
3.1 SISTEMA I/A DE FOXBORO	45
3.2 SOFTWARE DEL SISTEMA I/A	46
3.2.1 Características	46
3.2.2 Bloques	46
3.3 CONTROL CONTINUO	47
3.3.1 Bloque AIN	48
3.3.2 Bloque PID	48
3.3.3 Bloque AOUT	50
3.3.4 Otros Bloques de Control	50
3.3.5 Fox Draw	60
3.3.6 Lógica Ladder	65
4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA CALDERA	69
5. CONCLUSIONES	71
6. RECOMENDACIONES	73

BIBLIOGRAFÍA

74

ANEXOS

75