

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código FO-SB12/v0
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	Página 1/1

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): ANDREA DEL PILAR **APELLIDOS:** FABRA RIVERA

NOMBRE(S): FRANCYS MARCEL **APELLIDOS:** RODRÍGUEZ JIMÉNEZ

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JOSÉ RICARDO **APELLIDOS:** BERMÚDEZ SANTAELLA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): MODELO MATEMÁTICO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

RESUMEN

En este proyecto de grado, se plantea el modelo matemático de una cámara de combustión de una caldera pirotubular de dos pasos. Lo primero que se realizó fue el modelo matemático, el cual, se enfocó en la reacción química entre combustible y comburente, a través del balance estequiométrico, balance de masa y balance de energía, los cuales permiten conocer el comportamiento de las variables de los gases de combustión de salida y la cantidad de calor que se desprende en este proceso de combustión. Con esto, se analiza el comportamiento del proceso de combustión al interior de la cámara de combustión a través de la herramienta Matlab®-Simulink®, donde se obtuvieron los resultados respectivos del modelo matemático en mención de las variables de temperatura, presión, flujos másicos, fracciones másicas y molares, teniendo en cuenta que se realizó una comparación de los combustibles ACPM y Keroseno para la obtención de estos resultados. A su vez se empleó el software Ansys, donde se seleccionó el método fluent (CFD), siendo el indicado para simular fluidos en procesos de combustión, seguido a esto, se realizó un estudio del comportamiento de la temperatura y presión a través de la longitud total de la cámara de combustión y a su vez las fracciones molares y másicas de los productos resultantes de la combustión CO_2 , N_2 Y H_2O . Finalmente se ejecutó un estudio de los resultados, mediante la comparación de los dos tipos de combustibles empleados para el análisis del comportamiento del proceso de combustión en la cámara de combustión, los dos combustibles estudiados fueron el combustible ACPM y el combustible Keroseno. Igualmente se ejecutó una comparación teniendo en cuenta los tipos de combustión que se presentan en ese proceso, como lo es, una combustión estequiométrica, una combustión con exceso de aire y una combustión con presencia de inquemados.

PALABRAS CLAVES: Modelo matemático, Cámara de combustión, Combustión, Relación aire combustible, estequiometria.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 134 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM: 1

Elaboró		Revisó		Aprobó	
Equipo Operativo del Proceso		Comité de Calidad		Comité de Calidad	
Fecha	24/10 /2014	Fecha	05/12/2014	Fecha	05/12/2014

MODELO MATEMÁTICO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA
PIROTUBULAR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS DE LA UNIVERSIDAD
FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

ANDREA DEL PILAR FABRA RIVERA

FRANCYS MARCEL RODRÍGUEZ JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2017

MODELO MATEMÁTICO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA
PIROTUBULAR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS DE LA UNIVERSIDAD
FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

ANDREA DEL PILAR FABRA RIVERA
FRANCYS MARCEL RODRÍGUEZ JIMÉNEZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Industrial

Director

JOSÉ RICARDO BERMÚDEZ SANTAELLA

Ing. Eléctrico

MSC. Automatización e Instrumentación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: Julio, 05 del 2017
HORA: 09:00 A.M
LUGAR: Sala de simulación Fluter
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA INDUSTRIAL

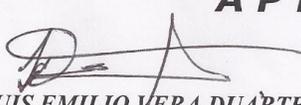
Título de la Tesis: "MODELO MATEMÁTICO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UBICADA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA"

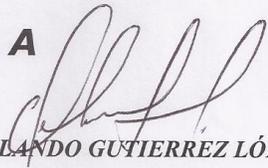
Jurados:
Ing. LUIS EMILIO VERA DUARTE
Ing. ORLANDO GUTIERREZ LÓPEZ
Lic. ANA MILENA GÓMEZ SOTO

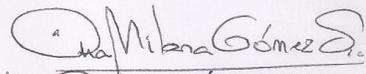
Director: Ing. JOSE RICARDO BERMUDEZ SANTAELLA

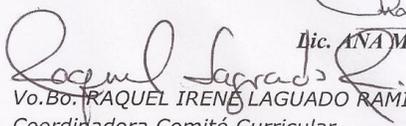
Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
FRANCYS MARCEL RODRIGUEZ JIMENEZ	1191342	CUATRO, CINCO	4.5
ANDREA DEL PILAR FABRA RIVERA	1191309	CUATRO, CINCO	4.5

APROBADA


Ing. LUIS EMILIO VERA DUARTE


Ing. ORLANDO GUTIERREZ LÓPEZ


Lic. ANA MILENA GÓMEZ SOTO


Vo.Bo. RAQUEL IRENÉ LAGUADO RAMÍREZ
Coordinadora Comité Curricular
Ingeniería Industrial


Jessica M.

Agradecimientos

En primera instancia queremos agradecer a Dios, quien nos brindó la paciencia, constancia, sabiduría y disciplina necesaria para cumplir otra meta más en nuestra vida.

A nuestros padres, quienes nos brindaron su amor y apoyo incondicional y desinteresado, convirtiéndose en nuestro motor para seguir adelante en los momentos más difíciles.

A nuestro director de proyecto, el ingeniero José Ricardo Bermúdez Santaella, quien nos brindó su confianza para llevar a cabo este proyecto de grado, siendo nuestra guía y brindándonos sus conocimientos y tiempo para realizar cada uno de los objetivos impuestos.

Resumen

En este proyecto de grado, se plantea el modelo matemático de una cámara de combustión de una caldera pirotubular de dos pasos. Lo primero que se realizó fue el modelo matemático, el cual, se enfocó en la reacción química entre combustible y comburente, a través del balance estequiométrico, balance de masa y balance de energía, los cuales permiten conocer el comportamiento de las variables de los gases de combustión de salida y la cantidad de calor que se desprende en este proceso de combustión. Con esto, se analiza el comportamiento del proceso de combustión al interior de la cámara de combustión a través de la herramienta Matlab®-Simulink®, donde se obtuvieron los resultados respectivos del modelo matemático en mención de las variables de temperatura, presión, flujos másicos, fracciones másicas y molares, teniendo en cuenta que se realizó una comparación de los combustibles ACPM y Keroseno para la obtención de estos resultados. A su vez se empleó el software Ansys, donde se seleccionó el método fluent (CFD), siendo el indicado para simular fluidos en procesos de combustión, seguido a esto, se realizó un estudio del comportamiento de la temperatura y presión a través de la longitud total de la cámara de combustión y a su vez las fracciones molares y másicas de los productos resultantes de la combustión CO_2 , N_2 Y H_2O . Finalmente se ejecutó un estudio de los resultados, mediante la comparación de los dos tipos de combustibles empleados para el análisis del comportamiento del proceso de combustión en la cámara de combustión, los dos combustibles estudiados fueron el combustible ACPM y el combustible Keroseno. Igualmente se ejecutó una comparación teniendo en cuenta los tipos de combustión que se presentan en ese proceso, como lo es, una combustión estequiométrica, una combustión con exceso de aire y una combustión con presencia de inquemados.

Abstract

In this degree project, the mathematical model of a combustion chamber of a two-stage pyrotubular boiler is proposed. The first thing that was done was the mathematical model, which focused on the chemical reaction between fuel and oxidizer, through the stoichiometric balance, mass balance and energy balance, which allow to know the behavior of the variables of the gases Output combustion and the amount of heat that is released in this combustion process. With this, the behavior of the combustion process inside the combustion chamber is analyzed through the Matlab®-Simulink® tool, where the respective results of the mathematical model were obtained, mentioning the variables of temperature, pressure, mass flow , Mass and molar fractions, taking into account that a comparison of the ACPM and Kerosene fuels was made to obtain these results. In turn, the Ansys software was used, where the fluent method (CFD) was selected, being the one indicated to simulate fluids in combustion processes, followed to this, a study of the behavior of the temperature and pressure through the length Total of the combustion chamber and in turn the molar and mass fractions of the products resulting from the combustion CO_2 , N_2 Y H_2O . Finally a study of the results was carried out, by comparing the two types of Fuels used to analyze the behavior of the combustion process in the combustion chamber, the two fuels studied were the ACPM fuel and the Kerosene fuel. A comparison was also carried out taking into account the types of combustion

that occur in this process, such as stoichiometric combustion, combustion with excess air and combustion with the presence of unleaded.

Contenido

	Pág.
Introducción	1
1. Problema	2
1.1 Título	2
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Formulación del Problema	2
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
1.6 Alcances y Limitaciones	4
1.6.1 Alcances	4
1.6.2 Limitaciones	5
2. Marco Referencial	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Marco Teórico	9
2.2.1 Caldera	9
2.2.1.1 Partes de la caldera.	9
2.2.1.2 Cámara de combustión	10
2.2.1.3 Tipos de caldera	11
2.2.2 Combustible	13
2.2.3 Comburente	14
2.2.3.1 Oxígeno	14
2.2.3.2 Nitrógeno	14

2.2.4	Combustión	15
2.2.5	Estequiometría de las combustiones	16
2.2.5.1	Combustión completa	17
2.2.5.2	Combustión incompleta	18
2.2.5.3	Combustión estequiométrica	18
2.2.6	Poder calorífico	18
2.2.6.1	Poder calorífico inferior (PCI)	19
2.2.6.2	Poder calorífico superior (PCS)	19
2.2.7	Coefficiente de exceso de aire	20
2.2.7.1	Combustión con defecto de aire	20
2.2.7.2	Combustión con exceso de aire	21
2.2.8	Rendimiento de la combustión	21
2.2.9	Modelo Matemático	22
2.2.10	Primera ley de la termodinámica	23
2.2.11	Balance de energía	23
2.2.12	Balance de masa	25
2.2.13	Balance estequiométrico	26
2.3	Marco Conceptual	27
2.3.1	Máquinas térmicas	27
2.3.2	Agua de alimentación	27
2.3.3	Aire teórico y en exceso	27
2.3.4	Oxígeno teórico	27
2.3.5	Aire teórico	27
2.3.6	Exceso de oxígeno	27
2.3.6	Exceso de aire	27

2.3.7 Porcentaje de exceso de aire	27
2.3.8 Sistema	28
2.3.9 Conservación de la energía	28
2.3.10 Compuesto químico	28
2.3.11 Molécula	28
2.3.12 Átomo	29
2.3.13 Mol	29
2.3.14 Calor	29
2.3.15 Inquemados	29
2.3.15.1 Inquemados sólidos	29
2.3.15.2 Inquemados gaseosos	29
2.3.16 Quemador	30
2.3.17 Quemadores Mecánicos	30
2.3.18 Rendimiento químico	30
2.3.19 Rendimiento de una caldera	30
2.3.20 Eficiencia	30
2.3.21 Matlab-simulink	30
2.3.22 Ansys	31
2.3.23 Simulación	31
2.4 Marco Contextual	31
2.5 Marco Legal	32
3. Diseño Metodológico	33
3.1 Tipo de Investigación	33
3.2 Instrumentos para la Recolección de la Información	33
3.2.1 Información Primaria	33

3.2.2 Información Secundaria	33
3.2.3 Análisis de la Información	34
3.3 Actividades Metodológicas	34
4. Caldera pirotubular	37
4.1 Caldera	37
4.2 Características del Combustible diésel	41
4.3 Combustibles empleados	42
4.3.1 Combustible ACPM	42
4.3.2 Keroseno	44
5. Modelo matemático de la cámara de combustión	45
5.1 Balance estequiométrico	45
5.1.2 Combustible aceite combustible para motores (ACPM)	49
5.1.3 Combustible keroseno	50
5.2 Balance de masa	51
5.4 Balance de energía	54
6. Simulación	57
6.1 Simulación de la zona de combustión	57
6.1.2 Balance estequiométrico	57
6.1.3 Comburente (aire)	60
6.1.4 Reacción combustible-comburente	60
6.1.5 Reacción estequiométrica	61
6.1.5.1 Reacción estequiométrica del combustible keroseno	61
6.1.6 Reacción con exceso de aire	62
6.1.7 Reacción con presencia de inquemados	63
6.2 Balance de masa	65
6.3 Balance de energía	67

7. Simulación con la herramienta Ansys	73
7.1 Simulación de la cámara de combustión	73
7.1.2 Geometría	73
7.1.3 Enmallado	75
7.1.4 Set up	76
7.2 Simulación del impeller	78
7.2.2 Enmallado	79
7.2.3 Setup	80
7.3 Resultados de la simulación (Ansys)	81
7.4 Resultados de la simulación del empeller	84
8. Estudio de los resultados	88
8.1 Estudio de los resultados obtenidos mediante la herramienta Simulink	88
8.1.2 Análisis de los resultados	92
8.2 Estudio de los resultados obtenidos mediante la herramienta Ansys	93
8.2.1 Análisis de los resultados obtenidos mediante la herramienta Ansys	95
9. Conclusiones	97
10. Recomendaciones	100
Bibliografía	101