

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código	FO-SB-12/v0
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	Página	1/144

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): \_\_\_HUGO MIGUEL\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_COMBARIZA BASTOS\_\_\_

NOMBRE(S): \_\_\_PEDRO JESÚS\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_GONZÁLEZ TORRES\_\_\_

FACULTAD: \_\_\_INGENIERÍA\_\_\_

PLAN DE ESTUDIOS: \_\_\_\_\_ INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): CARLOS EDUARDO APELLIDOS: CASTILLA ÁLVAREZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): MODELAMIENTO, SIMULACIÓN Y DISEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR CON ASISTENCIA SOLAR Y REFRIGERANTE 134A PARA ACS.

RESUMEN

En este proyecto se construyó una bomba de calor con el fin de validar el modelo matemático desarrollado en esta tesis, por lo que fue necesario el diseño y la simulación para complementar el objetivo general. El diseño se basó en la energía requerida para calentar agua de uso domiciliario y en la capacidad del compresor. Los intercambiadores de calor se diseñaron en una metodología por zonas, los cuales se diseñaron como intercambiadores en serie, en donde se estableció un coeficiente de transferencia de calor para cada zona, según las correlaciones del refrigerante R134a consultadas en la investigación. Los cálculos fueron realizados en el software EES. El modelo desarrollado en esta tesis es un modelo de parámetros distribuidos en donde mediante el método de Runge-Kutta y Newton-Raphson son utilizados para resolver las ecuaciones de masa, energía, momento y propiedades del refrigerante. Las propiedades del refrigerante y del agua, e igualmente el desarrollo del modelo matemático fueron programadas en el software Matlab.

PALABRAS CLAVE: Bomba de calor, intercambiador de calor, modelo distribuido, evaporador solar, condensador concéntrico.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 143 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 68 CD ROOM: 1

MODELAMIENTO, SIMULACIÓN Y DISEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR CON  
ASISTENCIA SOLAR Y REFRIGERANTE 134A PARA ACS

HUGO MIGUEL COMBARIZA BASTOS

PEDRO JESUS GONZALEZ TORRES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CUCUTA

2016

MODELAMIENTO, SIMULACIÓN Y DISEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR CON  
ASISTENCIA SOLAR Y REFRIGERANTE 134A PARA ACS

HUGO MIGUEL COMBARIZA BASTOS

PEDRO JESÚS GONZÁLEZ TORRES

Trabajo de Grado Modalidad Proyecto de Investigación Presentado Como Requisito Para Optar  
El Título de Ingeniero Electromecánico

Director:

MSC. IEM. CARLOS EDUARDO CASTILLA ÁLVAREZ

Co-director

ING. JOSE RAFAEL EUGENIO LÓPEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CUCUTA

2016



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO  
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**FECHA:** 7 DE DICIEMBRE DE 2016

**HORA:** 11:00 AM

**LUGAR:** Sala 1 de Cread

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO:** "MODELAMIENTO, SIMULACION Y DISEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR CON ASISTENCIA SOLAR Y REFRIGERANTE 134<sup>a</sup> PARA ACS"

**JURADOS:** Msc. SERGIO BASILIO SEPULVEDA MORA  
PhD. FRANCISCO E. MORENO GARCIA  
Esp. GIOVANNY RAMIREZ AYALA

**DIRECTOR:** Ing. CARLOS EDUARDO CASTILLA ALVAREZ  
**Co-director:** Msc. JOSE RAFAEL EUGENIO LOPEZ

<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE:</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CALIFICACION</b>
HUGO MIGUEL COMBARIZA BASTOS	1090657	4.2
PEDRO JESUS GONZALEZ TORRES	1090739	4.2

**OBSERVACIONES:**

**APROBADO**

**FIRMA DE LOS JURADOS:**

  

**VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR**  
Mery L.



## **Dedicatoria**

A Dios por ser siempre ese sentimiento de alegría, tranquilidad y serenidad en cada momento de esta etapa de vida que esta próxima a culminar espero ser digno por tan valioso esfuerzo.

A mis padres, Doris Amanda Bastos Santos y Hugo Antonio Combariza Rodriguez, no hay un día en el que no le agradezca a dios el haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron.

Hugo Miguel Combariza Bastos

## **Dedicatoria**

A Dios por permitir terminar mis estudios con éxito y con muchos deseos de seguir en este mundo de la investigación.

A mis padres Cruz Delina Torres y Pedro Ignacio González quienes me han apoyado incondicionalmente en cada paso que doy en mi vida. Y de quienes también aprendí que siempre es primero la familia.

A mis amigos y compañeros quienes fueron acompañantes de esta bonita e inolvidable etapa universitaria.

Pedro Jesús González Torres

## **Agradecimientos**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Al Msc. Ing. y director del proyecto Carlos Eduardo Castilla Álvarez por su colaboración, compromiso, apoyo y por involucrarnos en el maravilloso mundo de la refrigeración.

Al Ing. y codirector del proyecto José Rafael Eugenio López por su ayuda brindada durante la realización del proyecto.

A la PhD. Carmen Leonor Barajas Forero por permitirnos un espacio de trabajo para la realización de este proyecto.

Al Técnico en refrigeración Reynaldo López por su apoyo y dedicación en la construcción del prototipo construido, de quien gracias a su experiencia se obtuvieron buenos resultados.

A los Técnicos de mantenimiento de la UFPS quienes ayudaron de una u otra manera para la realización del proyecto.

A los compañeros que fueron amables, cooperativos y caritativos durante la realización del proyecto.

## Contenido

1. Introducción	19
1.1. Planteamiento del problema	20
1.2. Formulación del problema	22
1.3. Justificación	22
1.4. Objetivos.	23
1.4.1. Objetivo general.	23
1.4.2. Objetivos específicos.	23
1.5. Antecedentes	24
1.6. Organización del libro	27
2. Marco teórico	29
2.1. Las bombas de calor	29
2.2. COP.	30
2.3. Evaporador	31
2.4. Dispositivo de expansión.	31
2.5. Condensador.	32
2.6. Compresor	33
2.7. Rendimiento isentrópico	33
2.7. Modelo de Zivi 1964 de la fracción de vacío	34
2.8. Perdidas de presión en tubos lisos.	35



2.8.1.	Perdida de presión en flujo monofásico.	36
2.8.2.	Perdida de presión de flujo bifásico.	36
2.9.	Coeficiente de transferencia de calor	38
2.9.1.	Correlación de Shah 2013.	38
2.9.2.	Correlación de Kandlikar	40
2.9.3.	Transferencia de calor flujo monofásico.	42
2.9.4.	Flujo laminar.	42
2.9.5.	Flujo en transición	44
2.9.6.	Flujo turbulento.	44
2.9.7.	Correlación de Dittus Boelter	45
2.10.	Absorbedor tipo serpentín	46
2.11.	Factor de transparencia	46
3.	Diseño de la bomba de calor	48
3.1.	Especificación de la carga térmica	48
3.2.	Parámetro de desempeño del compresor	49
3.3.	Suposiciones del diseño.	51
3.4.	Modelo de tres zonas del condensador	52
3.4.1.	Zona monofásica condensador.	54
3.4.2.	Zona de mezcla o bifásica del condensador	56
3.5.	Modelo de dos zonas del evaporador	57

3.6.	Estimación de pérdida de presión en evaporador y condensador	62
3.7.	Cantidad de masa de refrigerante en los tubos intercambiadores de calor	63
3.8.	Resultados del diseño en EES	64
3.8.1.	Solución.	64
3.8.2.	Resultados	64
3.8.3.	Resultados de diseño del condensador	65
3.8.4.	Perdidas de presión en el condensador	68
3.8.5.	Resultados de diseño del evaporador	69
3.8.6.	Pérdida de presión en el evaporador.	71
3.8.7.	Masa de refrigerante R134a	72
4.	Modelamiento bomba de calor	73
4.1.	Introducción	73
4.2.	Ecuaciones de las propiedades de los fluidos.	74
4.2.1.	Ecuaciones del fluido refrigerante.	75
4.2.2.	Ecuaciones del agua	76
4.3.	Modelamiento condensador.	77
4.3.1.	Consideraciones del modelo del condensador.	77
4.3.2.	Variables de entrada y salida del modelo.	78
4.3.3.	Ecuaciones del modelo.	79
4.4.	Modelamiento evaporador solar.	82

4.4.1.	Consideraciones del modelo del evaporador.	83
4.4.2.	Variables de entrada y salida del evaporador.	84
4.4.3.	Ecuaciones del modelo.	84
4.5.	Modelamiento compresor.	88
4.6.	Modelamiento válvula expansión.	93
4.7.	Metodología de solución.	94
5.	Materiales y métodos	101
5.1.	Introducción	101
5.2.	Evaporador solar	101
5.3.	Compresor	102
5.4.	Condensador	102
5.5.	Válvula de expansión	103
5.6.	Filtro	104
5.7.	Sistemas de medición	104
5.7.1.	Selección de los sensores	105
5.7.2.	Medidor de temperatura	107
5.7.3.	Medidor de presión	108
5.7.4.	Medidor de flujo	108
5.8.	Sistema de adquisición de datos	109
5.9.	HMI	110

5.10.	Construcción del prototipo experimental	111
6.	Resultados	115
6.1.	Introducción	115
6.2.	Determinación de los pasos temporal y espacial	116
6.3.	Resultados de simulación numérica	117
6.4.	Incertezas en las medidas	128
6.5.	Equipos e Instrumentos usados para validar el modelo.	130
7.	Conclusiones	131
8.	Recomendaciones	133
9.	Referencias	135