

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, LUIS FERNANDO FIERRO LEVERONE

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR MECANICA DE 1HP DE CAPACIDAD, QUE USA REFRIGERANTE R404A, CON APLICACIÓN EN UN HORNO PARA SECADO DE MATERIA ORGÁNICA, PARA EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DEL D.E.C.E.M.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 23 de Abril 2013

LUIS FERNANDO FIERRO LEVERONE

C.I.: 172025621-1

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR MECANICA DE 1HP DE CAPACIDAD, QUE USA REFRIGERANTE R-404A, CON APLICACIÓN EN UN HORNO PARA SECADO DE MATERIA ORGÁNICA, PARA EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DEL D.E.C.E.M.”, fue realizado en su totalidad por LUIS FERNANDO FIERRO LEVERONE, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Ángelo Villavicencio
DIRECTOR

Ing. Oswaldo Mariño
CODIRECTOR

Sangolquí, 23 de Abril 2013

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR MECANICA DE 1HP DE CAPACIDAD, QUE USA REFRIGERANTE R-404A, CON APLICACIÓN EN UN HORNO PARA SECADO DE MATERIA ORGÁNICA, PARA EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DEL D.E.C.E.M.”

ELABORADO POR:

**LUIS FERNANDO FIERRO LEVERONE
CARRERA DE INGENIRÍA MECÁNICA**

**Ing. Ángelo Villavicencio
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Sangolquí, 23 de Abril 2013

DEDICATORIA

El esfuerzo y dedicación entregados en el transcurso de estos años de estudios y preparación profesional, junto con el desarrollo y culminación de este proyecto de tesis, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, están dedicados a la entrega y sacrificio de mis padres, mi hermana y mi familia que han hecho de mí una persona buena, luchadora y me han dado su confianza y apoyo incondicional para alcanzar cada una de las aspiraciones propuestas, de igual forma me es justo dedicar este proyecto a cada uno de mis compañeros de carrera y a mis buenos amigos que me han apoyado en cada momento y con los cuales he compartido y disfrutado estos años de universidad, que juntos con la mano en el hombro nos hemos apoyado para salir adelante.

Luis Fernando Fierro Leverone

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de la manera más humilde y sincera a Jehová Dios por darme la fuerza, energía y la oportunidad de haber podido realizar mis estudios universitarios, así también quiero agradecer por los años de vida que tengo y por las bendiciones derramadas sobre mi familia.

A mis padres y familia a quienes les agradezco por todo el apoyo brindado para la desarrollo de mi proyecto de tesis y a Cesar, Pablo, Juan, Rodolfo y Edwin por su ayuda y colaboración en la culminación del mismo, así también a mis buenos amigos, por todos los momentos dentro y fuera de las aulas, sobre todo los fuera.

Al Ing. Ángelo Villavicencio, por sus consejos, apoyo y guía los cuales han sido de mucha ayuda en la culminación de este proyecto de tesis y mis estudios universitarios.

A los Ingenieros Oswaldo Mariño, Eduardo Gutiérrez, Alexis Ortiz y Roberto Buenaño, que me han apoyado con su conocimiento y experiencia durante el desarrollo de la etapa de construcción del banco de pruebas.

Finalmente agradezco a todos los profesores y compañeros de la carrera de Ingeniería Mecánica que estuvieron presente a lo largo de esta etapa de vida que han aportado con su grano de arena para que todo esto se pueda cumplir.

Luis Fernando Fierro Leverone

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
NOMENCLATURA.....	xvii
RESUMEN.....	xix

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 <i>OBJETIVO GENERAL.....</i>	<i>4</i>
1.4.2 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>4</i>
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
1.6 ALCANCE.....	6

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. BANCOS DE BOMBAS DE CALOR MECÁNICA POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	7
2.1.1. <i>INTRODUCCIÓN BOMBA DE CALOR.....</i>	<i>7</i>
2.1.2. <i>REFRIGERACIÓN.....</i>	<i>9</i>
2.1.3. <i>EL PROCESO DE REFRIGERACIÓN.....</i>	<i>10</i>
2.1.4. <i>RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA.....</i>	<i>13</i>
2.1.5. <i>COMPONENTES DE LA REFRIGERACIÓN.....</i>	<i>15</i>

2.1.6. EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y SUS COMPONENTES.....	27
2.2. REFRIGERANTES.....	28
2.2.1. LOS REFRIGERANTES DEBEN SER SEGUROS.....	28
2.2.2. LOS REFRIGERANTES DEBEN SER DETECTABLES.....	30
2.2.3. EL PUNTO DE EBULLICIÓN DE UN REFRIGERANTE.....	33
2.2.4. CARACTERÍSTICAS DE BOMBEO.....	34
2.2.5. FÓRMULA QUÍMICA DE LOS REFRIGERANTES.....	34
2.2.6. CÓDIGO DE COLORES DE LAS BOTELLAS DE REFRIGERANTES.....	36
2.2.7. RECUPERACIÓN, RECICLADO DE REFRIGERANTES.....	37
2.2.8. TRAZADO DEL CICLO DEL REFRIGERANTE.....	39
2.3 SECADO Y DESECADO SISTEMA DE SECADOR.....	41
2.3.1 DESECACIÓN.....	41
2.3.2 COMPONENTES.....	44
2.3.3 TIPOS DE SECADEROS.....	44
2.3.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	48
2.3.5 APLICACIONES.....	48
2.3.6 MEDIDAS DE EFICIENCIA.....	51
 CAPITULO 3: DISEÑO	
3.1 DISEÑO TÉRMICO.....	57
3.1.1 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO.....	57
3.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	58
3.1.3 CÁLCULOS SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CÁMARA DE CONGELACIÓN.....	62
3.1.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	72
3.1.5 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁSIKO EN EL SECADOR.....	76
3.1.6 EFICIENCIA DEL SECADOR.....	77
3.2 PROPIEDADES REFRIGERANTE R-404A.....	78
3.3 CICLO TERMODINÁMICO REFRIGERANTE R-404A.....	79
3.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	80
3.4.1 CONDICIONES DE DISEÑO.....	80
3.4.2. ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBA DE CALOR Y SECADOR.....	80
3.4.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	82
3.4.4 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	89

CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN.....	93
4.2 BANCO DE PRUEBAS TERMINADO.....	93
4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	94
4.4 ESTRUCTURA METÁLICA Y TABLERO DE MONTAJE.....	95
4.5 CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD SECADORA.....	95
4.6 MONTAJE DE EQUIPOS.....	97
4.7 ESQUEMA UNIFILAR DEL BANCO DE PRUEBAS.....	98
4.8 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONEXIÓN AL COMPUTADOR.....	99
4.9 ESQUEMA ELÉCTRICO.....	100

CAPITULO 5: PRUEBAS, MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE PRUEBAS BOMBA DE CALOR Y SECADOR Y GUÍAS DE PRÁCTICAS

5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	101
5.1.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EXPERIMENTAL.....	101
5.1.2 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	103
5.1.3 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁSSICO EN EL SECADOR.....	107
5.1.4 PRUEBAS EN EL SECADOR.....	107
5.2 MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE PRUEBAS.....	110
5.3 GUÍAS DE LABORATORIO.....	110

CAPITULO 6: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	111
6.1.1 <i>COSTOS DIRECTOS</i>	111
6.1.2 <i>COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS</i>	115
6.1.3 <i>COSTO TOTAL</i>	116
6.2 ANÁLISIS FINANCIERO.....	116

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.....	117
7.2 RECOMENDACIONES.....	118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
--	------------

ANEXOS

ANEXO A
ANEXO B
ANEXO C
ANEXO D
ANEXO F
ANEXO G
ANEXO H
ANEXO I
ANEXO J
ANEXO K
ANEXO L
ANEXO M

PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

FIGURA 2.1:	ESQUEMA DE LA BOMBA DE CALOR.....	7
FIGURA 2.2:	BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN MECÁNICA.....	9
FIGURA 2.3:	FLUJO DE CALOR Y HIELO COMO REFRIGERANTE.....	9
FIGURA 2.4:	CICLO DE REFRIGERACIÓN (DIAGRAMA P – H).....	13
FIGURA 2.5:	COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN.....	14
FIGURA 2.6:	ESQUEMA DE EVAPORADOR DE EXPANSIÓN SECA (DIRECTA).....	16
FIGURA 2.7:	DIAGRAMA EVAPORADOR INUNDADO.....	16
FIGURA 2.8:	DIAGRAMA ESQUEMA EVAPORADORES SOBREDIMENSIONADOS.....	17
FIGURA 2.9:	ESQUEMA COMPRESOR DE EMBOLO.....	18
FIGURA 2.10:	ESQUEMA COMPRESOR DE TORNILLO.....	19
FIGURA 2.11:	COMPRESOR SISTEMA PENDULAR TAUROZZI.....	20
FIGURA 2.12:	ESQUEMA COMPRESORES RECIPROCANTES O ALTERNATIVOS.....	20
FIGURA 2.13:	CONDENSADOR DE TUBOS Y ALETAS.....	22
FIGURA 2.14:	CONDENSADORES DE PLACAS.....	23
FIGURA 2.15:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN Y SUS PARTES.....	24
FIGURA 2.16:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN MANUAL.....	24
FIGURA 2.17:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA.....	25
FIGURA 2.18:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN.....	25
FIGURA 2.19:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICA O ELECTROMECAÁNICA.....	26
FIGURA 2.20:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN AUTOMÁTICA.....	26
FIGURA 2.21:	TERMOSTATO.....	27
FIGURA 2.22:	FILTRO DE HUMEDAD.....	27
FIGURA 2.23:	FILTRO DE HUMEDAD.....	27
FIGURA 2.24:	PRESOSTATOS ANALÓGICOS Y DIGITALES.....	28
FIGURA 2.25:	MIRILLA.....	28
FIGURA 2.26:	SECADEROS POR CONDUCCIÓN.....	44
FIGURA 2.27:	TIPO TAMBOR GIRATORIO.....	45
FIGURA 2.28:	SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO.....	45
FIGURA 2.29:	SECADOR TIPO FLASH.....	46
FIGURA 2.30:	SECADEROS POR RADIACIÓN.....	47
FIGURA 2.31:	SECADEROS DE ALTA FRECUENCIA, POR DIELECTRICIDAD.....	48
FIGURA 2.32:	RECUPERADORES DIRECTOS.....	52
FIGURA 2.33:	LECHO FLUIDIZADO CON TUBOS TÉRMICOS.....	52
FIGURA 2.34:	INTERCAMBIADORES DE TUBOS Y ALETAS.....	53
FIGURA 2.35:	BOMBA DE CALOR Y SISTEMA PROPUESTO.....	53

CAPITULO 3: DISEÑO

FIGURA 3.1:	UNIDAD CONDENSADORA MODELO CAJ9510Z MHR.....	58
FIGURA 3.2:	UNIDAD EVAPORADORA MODELO LMSMB025E.....	59
FIGURA 3.3:	UNIDAD SECADORA PARA 500 GRAMOS DE MATERIA ORGÁNICA.....	61
FIGURA 3.4:	ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBA DE CALOR Y SECADOR.....	80
FIGURA 3.5:	ENTRADA DE AIRE AL SECADOR.....	81
FIGURA 3.6:	VÁLVULA DE EXPANSIÓN Y TRAMPA DE ACEITE.....	83
FIGURA 3.7:	VÁLVULA DE SERVICIO.....	83
FIGURA 3.8:	VÁLVULA SOLENOIDE.....	84
FIGURA 3.9:	VÁLVULAS DE SERVICIO EN LA UNIDAD CONDENSADORA.....	84
FIGURA 3.10:	FILTRO.....	85
FIGURA 3.11:	MIRILLA O VISOR DE LÍQUIDO.....	85
FIGURA 3.12:	CONDENSADOR EN SECADOR.....	87
FIGURA 3.13:	MANÓMETRO DE ALTA.....	87
FIGURA 3.14:	MANÓMETRO DE BAJA.....	88
FIGURA 3.15:	PRESOSTATO DE ALTA Y DE BAJA.....	88
FIGURA 3.16:	PCT-400RI plus.....	90
FIGURA 3.17:	TC-940RI plus.....	90
FIGURA 3.18:	TI-33RI plus.....	91
FIGURA 3.19:	MT-530RI super.....	91

CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

FIGURA 4.1:	BANCO DE PRUEBAS.....	93
FIGURA 4.2:	MESA Y PANEL DE CONTROL.....	95
FIGURA 4.3:	CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR.....	96
FIGURA 4.4:	MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO DE PRUEBA.....	97
FIGURA 4.5:	ESQUEMA UNIFILAR DEL BANCO DE PRUEBAS.....	98
FIGURA 4.6:	INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	99
FIGURA 4.7:	ISOLATED INTERFACE CONV32.....	99
FIGURA 4.8:	INTERFACE CON EL COMPUTADOR.....	99
FIGURA 4.9:	ESQUEMA ELÉCTRICO.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

TABLA 2.1:	CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES POR SU TOXICIDAD.....	29
TABLA 2.2:	PESO MOLECULAR Y OLORES REFRIGERANTES.....	31
TABLA 2.3:	NOMBRE Y FORMULA QUÍMICA DE LOS REFRIGERANTES.....	35
TABLA 2.4:	CÓDIGO DE COLORES CONTENEDORES REFRIGERANTES.....	36
TABLA 2.5:	APLICACIONES INDUSTRIALES DEL SECADO.....	49

CAPITULO 3: DISEÑO

TABLA 3.1:	UNIDAD CONDENSADORA MODELO CAJ9510Z MHR.....	59
TABLA 3.2:	ESPECIFICACIONES UNIDAD EVAPORADORA MODELO LMSMB025E....	60
TABLA 3.3:	PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R-404A.....	78
TABLA 3.4:	DATOS TÉCNICOS UNIDADES CONDENSADORES.....	86

CAPITULO 5: PRUEBAS, MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE PRUEBAS BOMBA DE CALOR Y SECADOR Y GUÍAS DE PRÁCTICAS

TABLA 5.1:	DATOS INICIALES BOMBA DE CALOR.....	102
TABLA 5.2:	DATOS INICIALES CÁMARA DEL SECADOR.....	102
TABLA 5.3:	DATOS BOMBA DE CALOR ESTABLE.....	103
TABLA 5.4:	DATOS CÁMARA DE SECADOR ESTABLE.....	103

CAPITULO 6: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

TABLA 6.1:	EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	112
TABLA 6.2:	MESA Y TABLERO DE MONTAJE.....	113
TABLA 6.3:	ACCESO TABLA.....	113
TABLA 6.4:	ACCESORIOS ELÉCTRICOS.....	114
TABLA 6.5:	MISCELÁNEO.....	114
TABLA 6.6:	MANO DE OBRA.....	115
TABLA 6.7:	ASESORAMIENTO.....	115

TABLA 6.8:	COSTOS DIRECTOS.....	115
TABLA 6.9:	COSTOS INDIRECTOS.....	116
TABLA6.10:	COSTO TOTAL.....	116

INDICE DE GRAFICAS

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

GRAFICA 2.1: DIAGRAMA PRESIÓN-ENTALPIA DEL CICLO REAL.....	11
GRAFICA 2.2: POTENCIA VS TIPO DE COMPRESOR.....	21
GRAFICA 2.3: CICLO TERMODINÁMICO CICLO REFRIGERANTE R404A.....	40
GRAFICA 2.4: VELOCIDAD DE SECADO vs. TIEMPO.....	43

CAPITULO 3: DISEÑO

GRAFICA 3.1: CICLO TERMODINÁMICO REFRIGERANTE R-404A.....	79
--	----

NOMENCLATURA

Ac:	ÁREA DE CONTACTO
QS:	CALOR EN EL SECADOR
Cp:	CALOR ESPECIFICO
Qa1s:	CALOR ESTRIADO DEL AIRE CALIENTE
Qa1f:	CALOR EXTRAÍDO DEL AIRE FRIO
Qpe:	CALOR PERDIDO EN EL SECADOR
Qp:	CALOR POR PERDIDA POLICARBONATO
Qt:	CALOR POR PERDIDA TECHO DE MADERA
Qaf:	CALOR POR PRODUCTO HABITÁCULO
Qas:	CALOR POR PRODUCTO SECADOR
Qe	CARGA POR EQUIPO
Qc:	CARGA POR ESTRUCTURA
Qt:	CARGA TOTAL UNIDAD DE CONGELAMIENTO
K:	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
ho:	COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EXTERNO
hi:	COEFICIENTE DE CONVECCIÓN INTERNO
β:	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA
COP:	PERFORMANCE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
U	COEFICIENTE GLOBAL DE TRASFERENCIA DE CALOR
δ:	DENSIDAD
Dh:	DIÁMETRO HIDRÁULICO
E:	EFICIENCIA DEL SECADOR
h	ENTALPIA
FOF:	PERFORMANCE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
g:	GRAVEDAD
Hm:	HUMEDAD DE LA CÁMARA
Lc:	LONGITUD CARACTERÍSTICA
ma:	MASA DE AIRE
%merma:	MERMA DE AGUA
Gr:	NUMERO DE GRASHOF
Nu:	NUMERO NUSSELT

Pr:	NUMERO PRANDTL
Re:	NUMERO REYNOLDS
Hf:	PORCENTAJE DE AGUA EN LA MUESTRA FINAL
Hi:	PORCENTAJE DE AGUA EN LA MUESTRA ORIGINAL
Qcon:	POTENCIA CALORÍFICA EVACUADO EN EL CONDENSADOR
Pc:	POTENCIA EN EL COMPRESOR
Pe:	POTENCIA EXTRACTOR
Qf:	POTENCIA FRIGORÍFICA
PT	POTENCIA TOTAL
Pv:	POTENCIA VENTILADOR
Pcond:	PRESIÓN DE CONDENSACIÓN
Pevap:	PRESIÓN DE EVAPORACIÓN
RC:	RAZÓN DE COMPRESIÓN
η_m:	RENDIMIENTO MECÁNICO
η_T:	RENDIMIENTO TOTAL DEL MOTO-COMPRESOR
η_v:	RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO
T:	TEMPERATURA
Ta / Ti:	TEMPERATURA AMBIENTE
Tinicials:	TEMPERATURA DE AIRE DEL SECADOR
Tfinals:	TEMPERATURA DE AIRE FRIO DEL SECADOR
Tc:	TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN
Treq:	TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO
Te:	TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN
Ts:	TEMPERATURA EN EL SECADOR
Tfinalf:	TEMPERATURA FINAL DE AIRE HABITÁCULO FRIO
Tinialf:	TEMPERATURA INICIAL DE AIRE HABITÁCULO FRIO
V:	VOLUMEN
Vaf:	VOLUMEN DE AIRE DEL HABITÁCULO FRIO
Vas:	VOLUMEN DE AIRE DEL SECADOR
v:	VOLUMEN ESPECIFICO

RESUMEN

La carrera de ingeniería mecánica tiene muchos y variados campos de aplicación siendo uno de ellos el tema de la refrigeración, son pocos los ingenieros que optan por esta rama aun cuando las oportunidades de crecimiento son muchas, el Laboratorio de Conversión de Energía de la Carrera de Ing. Mecánica, cuenta con algunos equipos de refrigeración y bomba de calor, los cuales aportan a nuestro conocimiento sin embargo yo como egresado y futuro profesional encontré la necesidad de aportar a nuestra facultad con un banco de pruebas totalmente nuevo con el objetivo principal de contribuir con el aprendizaje de futuros estudiantes.

He diseñado y a su vez he construido un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica de 1hp de capacidad, que usa refrigerante R404A, con aplicación en un secador para secar materia orgánica, para el laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M. con el objetivo de que los estudiantes tengan la posibilidad de realizar prácticas de laboratorio permitiéndoles entender efectivamente los principios teóricos de refrigeración y aplicación de una bomba de calor mecánica. El diseño y montaje del proyecto, se los realizo con criterios técnicos en la normas ASHRAE, ARI, SMACNA.

En el equipo se pueden realizar prácticas de laboratorio como: puesta en marcha del sistema, trazado del ciclo termodinámico del sistema de bomba de calor tanto frío como el de calor, transporte de aire mediante ductos fijos y flexibles, caídas de presión en los mismos y velocidades de salida de aire mediante difusores y rejillas.

Además en el proyecto de tesis, se ha elaborado las guías de laboratorio con el propósito facilitar al estudiante la manipulación y operación del banco de pruebas, aprovechar las prestaciones didácticas en el aprendizaje de la cátedra de Refrigeración.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los Bancos de Pruebas de Refrigeración permiten desarrollar ciertos ensayos dentro de un ambiente de desarrollo controlado, evitando los riesgos que conllevan las pruebas dentro de procesos de producción, en lo cual el estudiante puede complementar su aprendizaje y estar preparado para afrontar la problemática inherente al montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas.

El presente proyecto de grado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR MECANICA DE 1HP DE CAPACIDAD, QUE USA REFRIGERANTE R-404A, CON APLICACIÓN EN UN HORNO PARA SECADO DE MATERIA ORGÁNICA, PARA EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DEL D.E.C.E.M.” está conformado por cuatro etapas principales:

- Análisis del diseño térmico.
- Construcción y montaje de la instrumentación, equipos y componentes.
- Realizar pruebas de funcionamiento y operación del equipo.
- Recolección, análisis y evaluación de datos obtenidos.

1.2 ANTECEDENTES

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (D.E.C.E.M.), desde sus inicios ha contribuido decisivamente al prestigio de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Ya que este cuenta con laboratorios de gran importancia para el desarrollo del aprendizaje e investigación de los estudiantes.

La ingeniería mecánica es una carrera que tiene muchos campos de aplicación, uno de ellos, LA REFRIGERACION, sin embargo muchos de los estudiantes egresados y graduados no ven en esta área una fuente de desarrollo en el país más aun en el caso de la refrigeración como un sistema de aporte de energía y no como un sistema de extracción de la misma, aunque parezca contradictorio tenemos el caso inverso a la refrigeración, la BOMBA DE CALOR MECANICA utilizada en un secador para secar materia orgánica; en la actualidad existen muchos y variados sistemas de bombas de calor los cuales satisfacen las demandas de las grandes empresas, en el área de calefacción y secadores, esto quiere decir que hay varias oportunidades de crecimiento en este campo.

Para ser competitivos e innovadores dentro de esta especialidad, debemos tener totalmente claro todos los principios básicos de la refrigeración y bomba de calor mecánica, como en cualquier otra carrera, esto es conocer a fondo todos los procesos de estos sistemas con todas las variaciones posibles.

Los objetivos del proyecto estarán orientados al: Análisis, diseño, construcción, pruebas de laboratorio, manual de usuario, manual de mantenimiento, conclusiones y recomendaciones sobre futuros proyectos que pueden ser realizados.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, a través del Laboratorio de Conversión de Energía busca desarrollar el aprendizaje e investigación de los estudiantes en el área de la Refrigeración; preparándolos para afrontar la problemática al montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas junto a sus diversas aplicaciones.

Por tal razón se presenta la necesidad de contar con un equipo didáctico de un sistema de refrigeración por compresión de vapor con variación del medio de transferencia de calor en el evaporador y control de flujo de refrigerante, ya que este nos permite generar un análisis integral sobre los procesos del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica por compresión de vapor de 1HP de capacidad que usa refrigerante R404A, con variación del medio de transferencia de calor en el condensador para un proceso de secado y del control de flujo del refrigerante para la realización de prácticas en el laboratorio de Conversión de Energía del D.E.C.E.M.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los principios básicos de los sistemas de bomba de calor mecánica.
- Realizar el diseño térmico y mecánico del sistema de refrigeración por compresión de vapor para un proceso de bomba de calor mecánica.
- Construir el banco de pruebas en base a los diseños realizados.
- Realizar las pruebas del funcionamiento del equipo construido.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente proyecto nace con el interés de contribuir con el desarrollo tecnológico del Laboratorio de Conversión de Energía del DECEM, y con el deseo de colaborar con la escuela a través de este proyecto, el cual se basa, en un equipo didáctico de un sistema de bomba de calor mecánica por compresión de vapor refrigerado con compresor, evaporador con soplador, válvula de expansión termostática e intercambiador de calor de espiralado coaxial como condensador además aprovechar este sistema en la construcción de secador para el secado de materia orgánica como la madera, granos, semillas entre otros y por medio de este equipo analizar los procesos del ciclo de refrigeración por compresión de vapor y los respectivos cálculos de las variaciones de rendimiento según las condiciones de funcionamiento, como las variables relacionadas con el secado de este tipo de productos vegetales.

El equipo que se va a construir, le permitirá al estudiante ver un sistema de refrigeración en sentido inverso, donde éste ya no será utilizado para enfriar y refrigerar, sino para enfriar y secar, más aun será utilizado para calentar y secar, con lo cual el estudiante podrá complementar su aprendizaje en las aplicaciones de los sistemas de refrigeración y bomba de calor mecánica.

1.6 ALCANCE

Disponer de un Banco de Pruebas que permita demostrar y evaluar el funcionamiento de un sistema de refrigeración y bomba de calor por compresión de vapor usando refrigerante R404A, que posteriormente será aplicado en un sistema de secado de aire caliente ávido de humedad, donde se estudiara el secado óptimo y eficiente de materia orgánica y las condiciones que el aire a circular por el secador debe tener para reducir los daños en los productos ya secados.

Obteniendo las eficiencias de la unidad de refrigeración por compresión de vapor y las eficiencias de un secador partiendo de:

- Un aparato de expansión capilar y el evaporador con fuente de aire como medio de transferencia de calor.
- Un secador cuya energía es aportada por un sistema de bomba de calor, que nos permita secar materia orgánica.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. BANCOS DE BOMBAS DE CALOR MECÁNICA POR COMPRESIÓN DE VAPOR.

2.1.1. INTRODUCCIÓN BOMBA DE CALOR

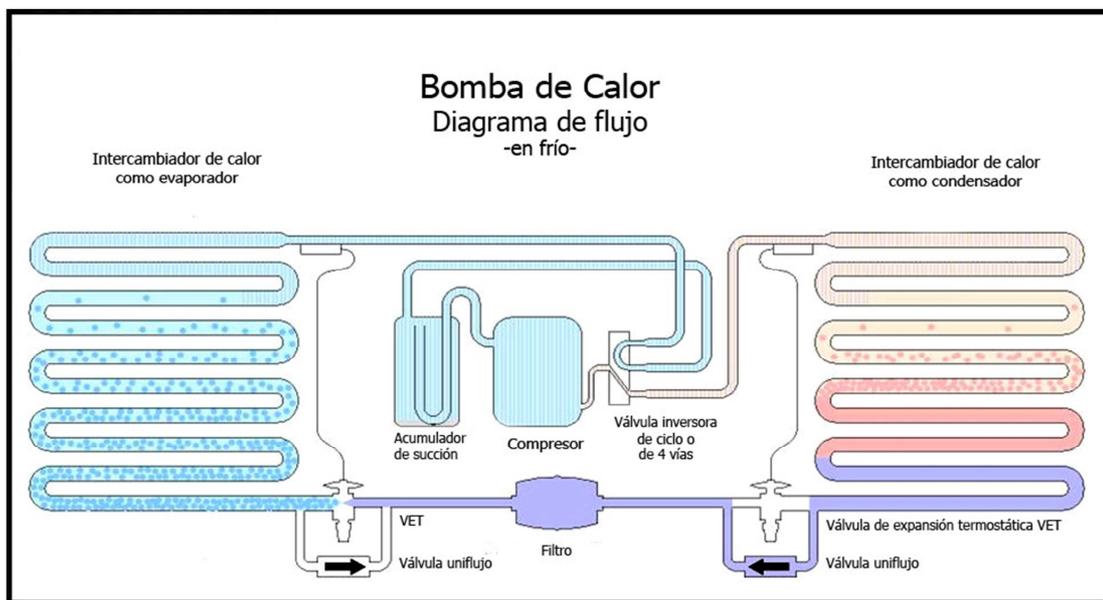


FIGURA 2.1: ESQUEMA DE LA BOMBA DE CALOR

Podríamos definirlo como un equipo de aire acondicionado, que en invierno toma calor del aire exterior, a baja temperatura y lo transporta al interior del local que se ha de calentar; todo este proceso se lleva a cabo mediante el accionamiento de un compresor, en la figura 2.1, se puede apreciar la descripción de los elementos que componen la bomba de calor y su funcionamiento.

Una de sus principales ventajas es su consumo. El ahorro de energía, que es lo mismo que decir, ahorro de dinero. Tenemos como ejemplo: por 1 KW de consumo de la red eléctrica, da 3KW de rendimiento en calor; lo cual equivale a

decir que consumiendo la misma energía eléctrica, la Bomba de Calor suministra 3 veces más calor que un aparato de calefacción eléctrica.

El calor fluye de forma natural desde las altas temperaturas a las bajas temperaturas. Sin embargo, la Bomba de Calor es capaz de hacerlo en dirección contraria, utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. Las Bombas de Calor pueden transferir este calor desde las fuentes naturales del entorno a baja temperatura (foco frío), tales como aire, agua o la propia tierra, hacia las dependencias interiores que se pretenden calentar o bien para emplearlo en procesos que precisan calor. Es posible también aprovechar los calores residuales de procesos industriales como foco frío, lo que permite disponer de una fuente a temperatura conocida y constante que mejora el rendimiento del sistema.

Las Bombas de Calor también pueden ser utilizadas para refrigerar. En este caso la transferencia de calor se realiza en el sentido contrario, es decir desde la aplicación que requiere frío al entorno que se encuentra a temperatura superior.

En algunas ocasiones, el calor extraído en el enfriamiento es utilizado para cuando se necesita calentar algo.

En el momento actual la utilización de Bombas de Calor supone un ahorro energético y que se reduzcan las emisiones de CO₂. Las Bombas de Calor consumen menos energía primaria que cualquier otro sistema pero hay que tener en cuenta como se genera la energía eléctrica que consumen las bombas de calor para saber si de verdad no contaminan.

Si la energía eléctrica proviene de fuentes como la hidroeléctrica ó eólica, entonces la contaminación es nula, pero si son de otras como las térmicas es evidente que existe esa contaminación, que de todas maneras es mucho menor que otros aparatos, para la figura 2.2, se puede observar un sistema de bomba de calor accionada por un motor eléctrico donde prácticamente no hay contaminación.

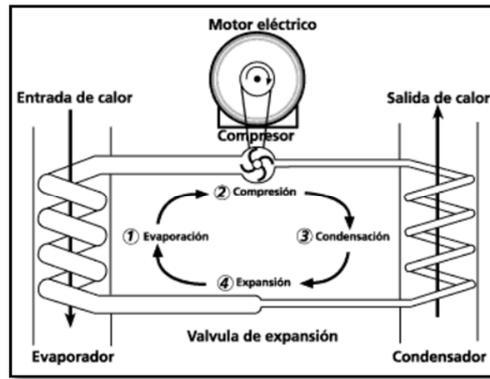


FIGURA 2.2: BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN MECÁNICA ACCIONADA POR UN MOTOR ELÉCTRICO

2.1.2. REFRIGERACIÓN

El trabajo de un sistema de refrigeración es enfriar artículos o productos y mantenerlos a una temperatura más baja que la temperatura ambiente. La refrigeración se puede definir como un proceso que saca y transporta el calor.

Los más viejos y mejores refrigerantes conocidos son el hielo, el agua y el aire. Al principio, el único propósito de la refrigeración fue conservar alimentos. Los chinos fueron los primeros en descubrir que el hielo aumentaba la vida y mejoraba el gusto de las bebidas y durante los siglos los esquimales han conservado alimentos congelándolos. Como podemos ver en la figura 2.3, el flujo de calor siempre de la materia con mayor temperatura a la más fría.

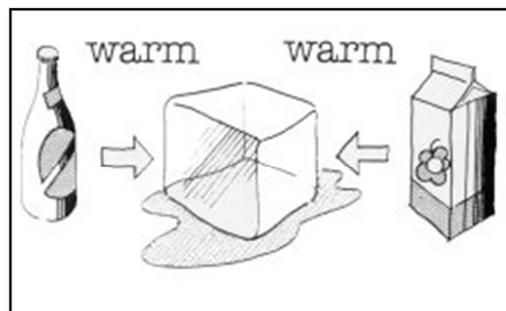


FIGURA 2.3: FLUJO DE CALOR Y HIELO COMO REFRIGERANTE

A principios de este siglo fueron conocidos los términos tales como bacterias, fermentación, enmohecimiento, encimas... También se descubrió que el aumento de microorganismos es dependiente de la temperatura y que

este crecimiento disminuye cuando la temperatura desciende y que el crecimiento empieza a ser muy bajo a temperaturas por debajo de $+10^{\circ}\text{C}$.

Como consecuencia de este conocimiento fue entonces posible el uso de la refrigeración para conservar productos alimenticios y el hielo se empezó a usar para este propósito.

Ahora hay numerosas aplicaciones para plantas de refrigeración:

Como ejemplos tenemos:

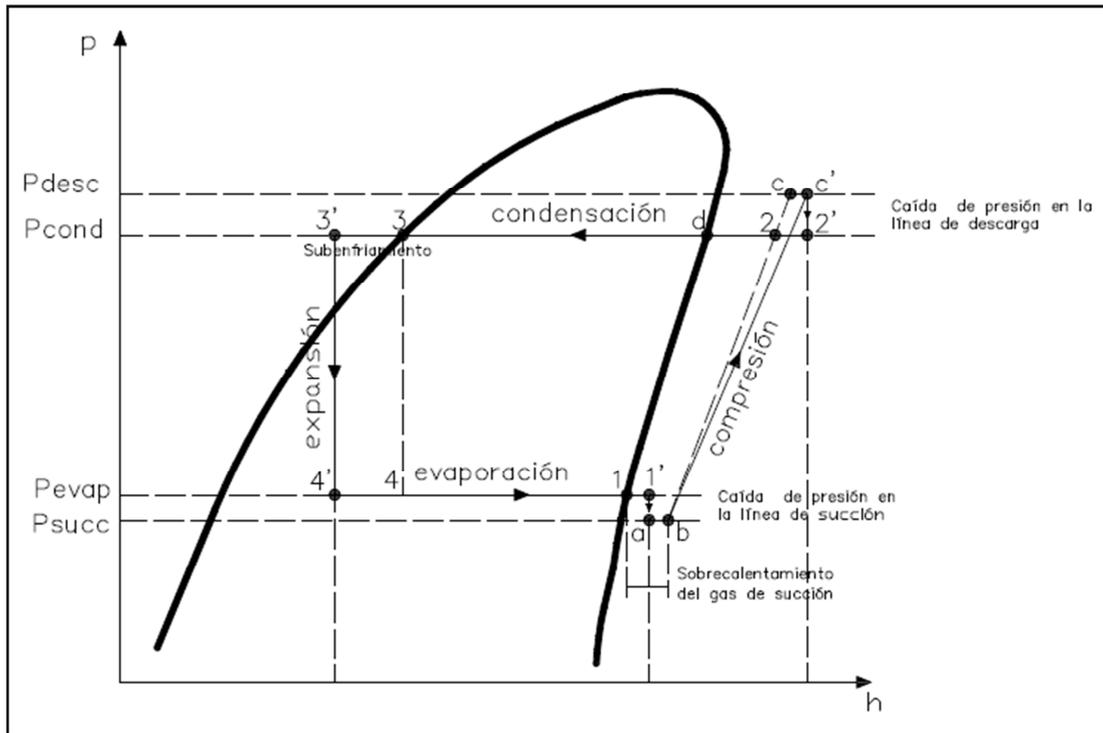
- Conservación de productos alimenticios
- Procesos de refrigeración
- Plantas de aire acondicionado
- Plantas secadoras
- Instalación de enfriamiento de agua
- Contenedores refrigerados
- Bombas de calor
- Fábricas de hielo
- Liofilización

De hecho es difícil imaginar la vida sin refrigeración y congelación, este impacto en nuestra existencia es mucho más grande que lo que la gente se imagina.

2.1.3. EL PROCESO DE REFRIGERACIÓN

Constituye el método por el cual se logra circular el fluido refrigerante por todo el sistema logrando optimizar la absorción de calor, dicho proceso se analizará en función del gráfico presión entalpía real, mostrado a continuación.

La variación principal del ciclo real frente al teórico ocurre en el compresor debido a posibles recalentamientos y subenfriado del refrigerante además de las caídas de presión en los diferentes componentes de la instalación.



GRAFICA 2.1: DIAGRAMA PRESIÓN-ENTALPIA DEL CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN

a) Proceso de compresión (proceso de 1-2).

En la grafica 2.1, el compresor es el dispositivo mecánico encargado de bombear y comprimir el fluido refrigerante, es así que tiene dos funciones principales:

Primera, succionar el refrigerante vaporizado (línea de succión), reduciendo la presión en el evaporador hasta un punto en el que puede mantenerse la temperatura de evaporación deseada. Segunda, comprimir este refrigerante hasta lograr una temperatura de saturación mayor que la temperatura del ambiente a fin de descargarlo en la línea de alta (línea de descarga) y lograr la transferencia de calor con el medio, de modo que la condensación se produzca fácilmente.

b) Proceso de condensación (proceso de 2 – 3).

El condensador generalmente, es un serpentín de cobre con laminillas de aluminio a modo de disipadores de calor su función consiste, en liberar o

disipar el calor del refrigerante absorbido durante el proceso de compresión, al ambiente, a través de un cambio de fase de dicho fluido, El refrigerante se licúa manteniéndose a alta presión y alta temperatura.

c) Proceso de expansión (proceso de 3 - 4).

De ahí, pasa a través del dispositivo regulador de presión que separa las áreas de alta y baja mediante una reducción de la sección de paso, al pasar por este dispositivo El refrigerante líquido a alta presión, que procede del depósito de la unidad condensadora se expande para convertirse en líquido a baja presión.

Al bajar la presión, la temperatura de saturación del refrigerante baja, permitiendo que absorba calor dentro del evaporador. Además de la reducción de presión esta válvula tiene la función de regular el caudal de fluido refrigerante

Así, tiene dos funciones distintas:

Primera, Regular la velocidad de admisión de líquido en el serpentín de enfriamiento y consecuentemente controlar la proporción de área superficial interior que se encuentra en contacto con el refrigerante líquido.

Segunda, Mantener constante la carga del compresor al mantener invariable la presión de succión. El aumento en la carga del sistema de refrigeración origina un incremento en la presión de succión pues el vapor se forma con mayor rapidez, si se mantiene constante esta presión la capacidad refrigerante del compresor es inalterable en todo momento.

En el presente proyecto se va a utilizar dos dispositivos de expansión diferentes a fin de determinar las respectivas eficiencias dentro del sistema.

d) Proceso de evaporación (proceso de 4 – 1).

Finalmente en la grafica 2.1 se puede observar que en el lado de baja presión, el refrigerante llega al evaporador el cual también es un serpentín, pero su presentación varía. En los equipos, de acondicionamiento de aire es

Se puede apreciar en la figura 2.5, que durante todo el ciclo de refrigeración la presión y temperatura guardan una estrecha relación como se la describe a continuación.

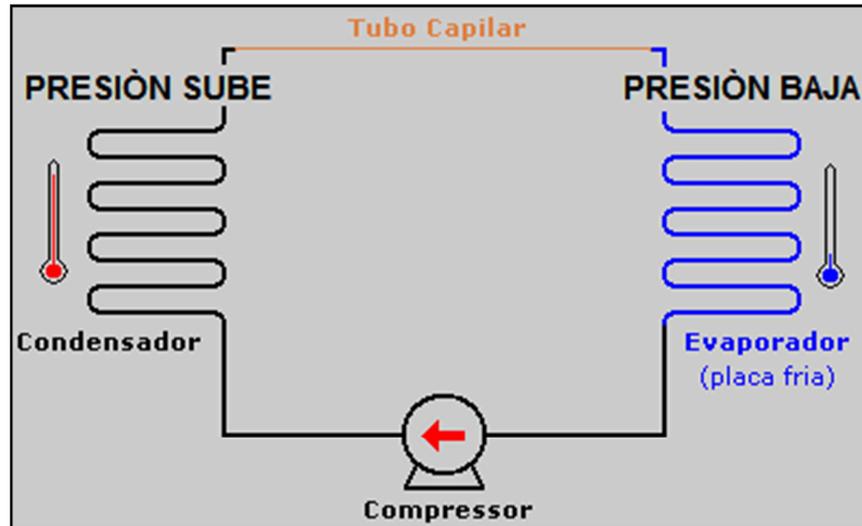


FIGURA 2.5: ESQUEMA DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

- La válvula de expansión regula el flujo a través del evaporador para mantener el sobrecalentamiento constante. La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que éste hierva o se vaporice, hasta que el refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la de su presión.
- Conforme la temperatura del gas que sale del evaporador varía, el bulbo de la válvula de expansión registra variación y actúa para modular la alimentación a través de la válvula de expansión, y así adaptarse a las nuevas necesidades.
- El compresor toma el vapor a baja presión procedente del evaporador y lo comprime aumentando, tanto su presión, como su temperatura. El vapor caliente, al alcanzar una alta presión, es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensador.

Conforme pasa a través de éste, el gas a alta presión es enfriado por algún medio externo.

- Conforme el vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la alta presión del condensador, el vapor se condensa y fluye al receptor como líquido, repitiéndose nuevamente el ciclo.

2.1.5. COMPONENTES DE LA REFRIGERACIÓN

2.1.5.1. Evaporador

Se conoce por **evaporador** al intercambiador de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo. Su nombre proviene del cambio de estado sufrido por el refrigerante al recibir esta energía, luego de una brusca expansión que reduce su temperatura. Durante el proceso de evaporación, el fluido pasa del estado líquido al gaseoso.

TIPOS DE EVAPORADOR:

SEGÚN ALIMENTACIÓN DE REFRIGERANTE

1. DE EXPANSIÓN DIRECTA O EXPANSIÓN SECA (DX)

En los evaporadores de expansión directa la evaporación del refrigerante se lleva a cabo a través de su recorrido por el evaporador, encontrándose este en *estado de mezcla en un punto intermedio* de este. De esta manera, el fluido que abandona el evaporador es puramente vapor sobrecalentado. Estos evaporadores son los más comunes y son ampliamente utilizados en sistemas de aire acondicionado. No obstante son muy utilizados en la refrigeración de media y baja temperatura, no son los más apropiados para instalaciones de gran volumen.

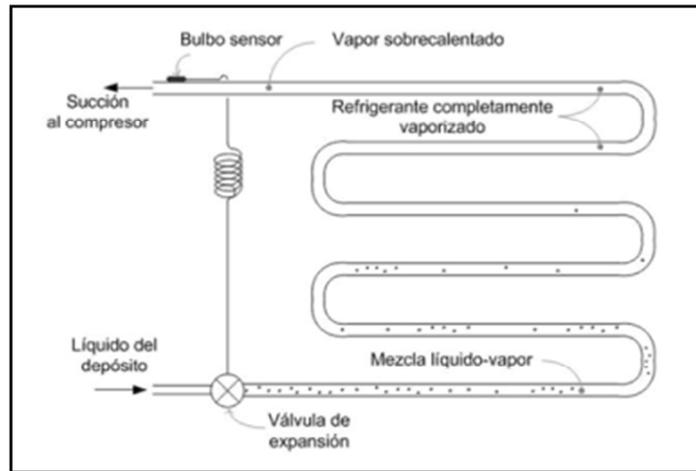


FIGURA 2.6: ESQUEMA DE EVAPORADOR DE EXPANSIÓN SECA (DIRECTA)

2. INUNDADOS

Los evaporadores inundados trabajan con refrigerante líquido con lo cual se llenan por completo a fin de tener humedecida toda la superficie interior del intercambiador y, en consecuencia, la mayor razón posible de transferencia de calor. El evaporador inundado está equipado con un acumulador o colector de vapor el que sirve, a la vez, como receptor de líquido, desde el cual el refrigerante líquido es circulado por gravedad a través de los circuitos del evaporador. Preferentemente son utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco (R717) como refrigerante.

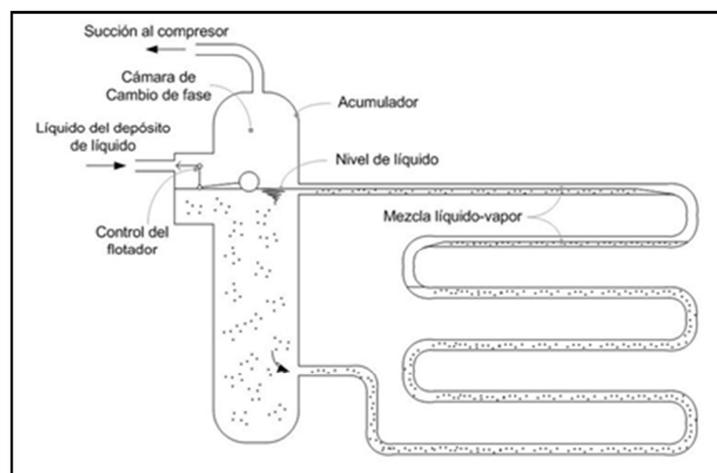


FIGURA 2.7: DIAGRAMA EVAPORADOR INUNDADO.

3. SOBREALIMENTADOS

Un evaporador sobrealimentado es aquel en el cual la cantidad de refrigerante líquido en circulación a través del evaporador ocurre con considerable exceso y que además puede ser vaporizado.

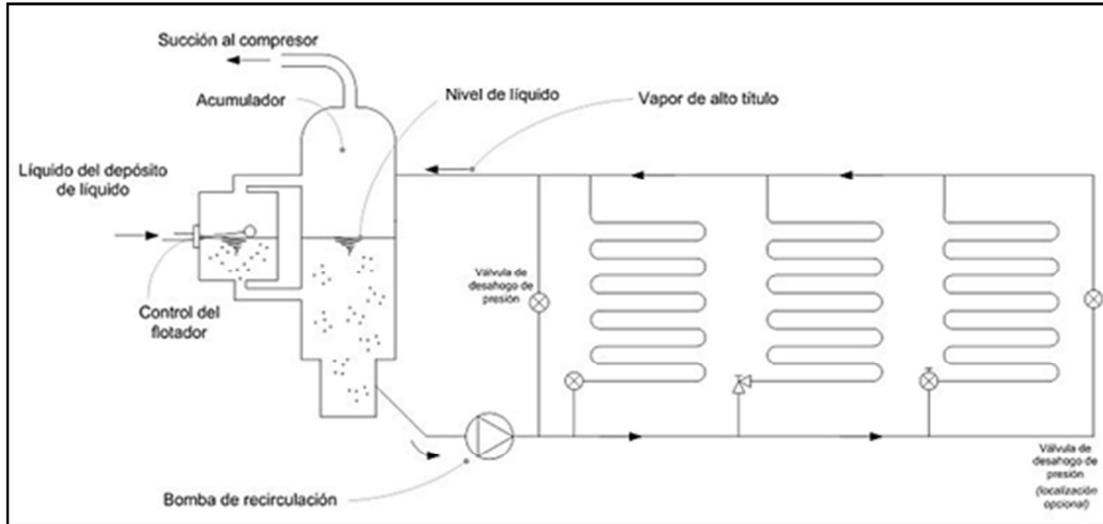


FIGURA 2.8: DIAGRAMA ESQUEMA EVAPORADORES SOBREDIMENSIONADOS

2.1.5.2. Compresor

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

TIPOS DE COMPRESORES

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MÉTODO DE INTERCAMBIO DE ENERGÍA:

Hay diferentes tipos de compresores de aire, pero todos realizan el mismo trabajo: toman aire de la atmósfera, lo comprimen para realizar un trabajo y lo regresan para ser reutilizado.

El compresor de desplazamiento positivo. Las dimensiones son fijas. Por cada movimiento del eje de un extremo al otro tenemos la misma reducción en volumen y el correspondiente aumento de presión (y temperatura). Normalmente son utilizados para altas presiones o poco volumen. Por ejemplo el inflador de la bicicleta. También existen compresores dinámicos. El más simple es un ventilador que usamos para aumentar la velocidad del aire a nuestro entorno y refrescarnos.

Se utiliza cuando se requiere mucho volumen de aire a baja presión.

1. COMPRESOR DE EMBOLO

Es un compresor de aire simple. Un vástago impulsado por un motor (eléctrico, diesel, neumático, etc.) es impulsado para levantar y bajar el émbolo dentro de una cámara. En cada movimiento hacia abajo del émbolo, el aire es introducido a la cámara mediante una válvula. En cada movimiento hacia arriba del émbolo, se comprime el aire y otra válvula es abierta para evacuar dichas moléculas de aire comprimidas; durante este movimiento la primera válvula mencionada se cierra.

El aire comprimido es guiado a un tanque de reserva. Este tanque permite el transporte del aire mediante distintas mangueras. La mayoría de los compresores de aire de uso doméstico son de este tipo, como puede apreciar en la en la figura 2.9, y el funcionamiento de sus válvulas.

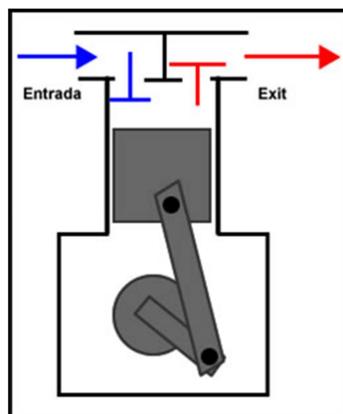


FIGURA 2.9: ESQUEMA COMPRESOR DE EMBOLO FUNCIONAMIENTO DE VÁLVULAS

2. COMPRESOR DE TORNILLO

Aún más simple que el compresor de émbolo, el compresor de tornillo también es impulsado por motores (eléctricos, diesel, neumáticos, etc.). La diferencia principal radica que el compresor de tornillo utiliza dos tornillos largos para comprimir el aire dentro de una cámara larga.

Para evitar el daño de los mismos tornillos, aceite es insertado para mantener todo el sistema lubricado. El aceite es mezclado con el aire en la entrada de la cámara y es transportado al espacio entre los dos tornillos rotatorios.

Al salir de la cámara, el aire y el aceite pasan a través de un largo separador de aceite donde el aire ya pasa listo a través de un pequeño orificio filtrador. El aceite es enfriado y reusado mientras que el aire va al tanque de reserva para ser utilizado en su trabajo.

En la figura 2.10, podemos ver la disposición del tornillo compresor y funcionamiento de este tipo de compresores.

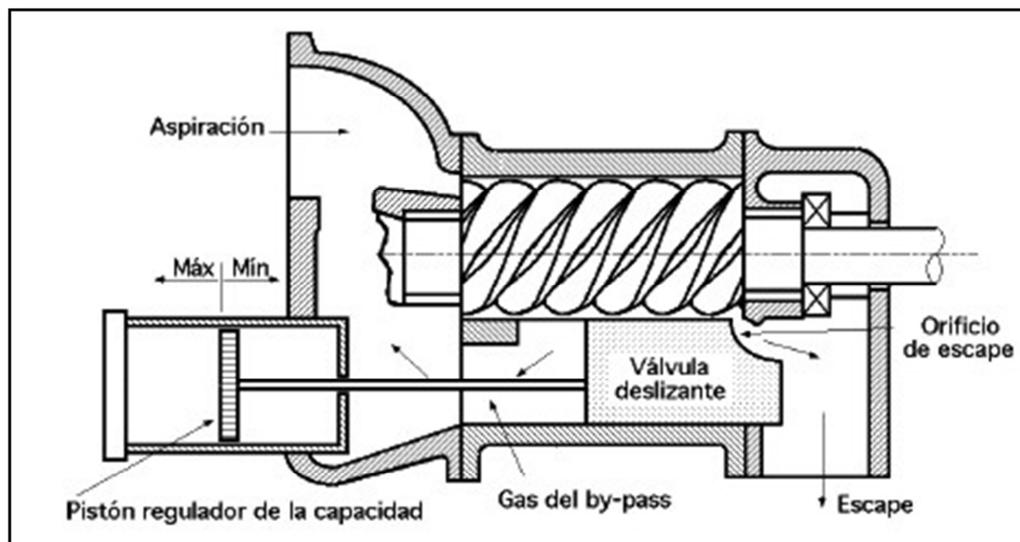


FIGURA 2.10: ESQUEMA COMPRESOR DE TORNILLO Y DISPOSICIÓN DEL TORNILLO COMPRESOR

3. SISTEMA PENDULAR TAUROZZI

Sistema que consiste en un pistón que se balancea sobre un eje generando un movimiento pendular exento de rozamientos con las paredes internas del cilindro, que permite trabajar sin lubricante y alcanzar temperaturas de mezcla mucho mayor.

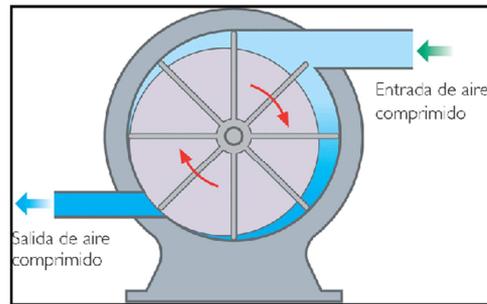


FIGURA 2.11: COMPRESOR SISTEMA PENDULAR TAUROZZI Y DISPOSICIÓN DE LAS CÁMARAS DE COMPRESIÓN

4. COMPRESORES RECIPROCANTES O ALTERNATIVOS

Este tipo de compresores utilizan pistones (sistema bloque-cilindro-émbolo como los motores de combustión interna). Abren y cierran válvulas que con el movimiento del pistón aspira/comprime el gas. Es el compresor más utilizado en potencias pequeñas. Pueden ser del tipo herméticos, semiherméticos o abiertos. Los de uso doméstico son herméticos, y no pueden ser intervenidos para repararlos. Los de mayor capacidad son semiherméticos o abiertos, que se pueden desarmar y reparar.

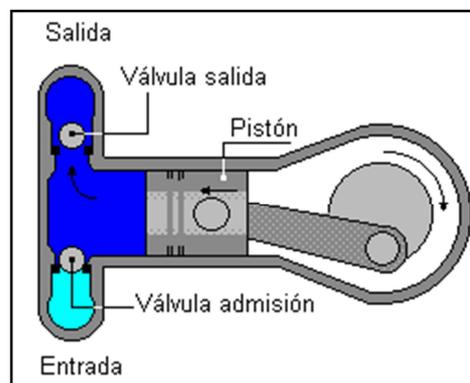
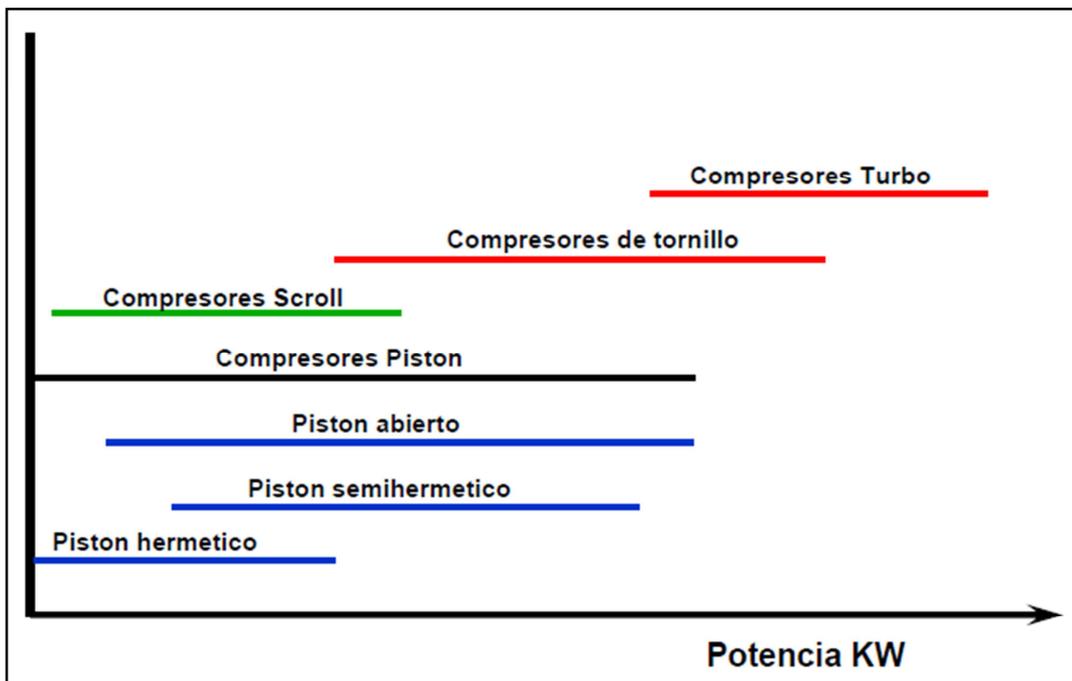


FIGURA 2.12: ESQUEMA COMPRESORES RECIPROCANTES O ALTERNATIVOS FUNCIONAMIENTO DE VÁLVULAS

5. COMPRESORES HERMÉTICOS

Compresores herméticos, su ámbito de aplicación comprende los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. El motor eléctrico va acoplado directamente al compresor, al ser hermético (cerrados) no podemos acceder a ellos, como por ejemplo para realizar operaciones de mantenimiento. También pueden ser de tipo rotativo o de tornillo.

Ahora bien en la grafica 2.2 podemos observar la potencia requerida para el funcionamiento dependiendo el tipo de compresor y esto servirá para hacer una mejor selección del compresor a usarse en el sistema de refrigeración.



GRAFICA 2.2: POTENCIA VS TIPO DE COMPRESOR

2.1.5.3. Condensador

La condensación se puede producir bien utilizando aire mediante el uso de un ventilador o con agua (esta última suele ser en circuito cerrado con torre de refrigeración, en un río o la mar). La condensación sirve para condensar el vapor, después de realizar un trabajo termodinámico p.ej. una turbina de vapor o para condensar el vapor comprimido de un compresor de frío en un circuito

frigorífico. Cabe la posibilidad de seguir enfriando ese fluido, obteniéndose líquido subenfriado en el caso del aire acondicionado.

El **condensador termodinámico** es utilizado muchas veces en la industria de la refrigeración, el aire acondicionado o en la industria naval y en la producción de energía eléctrica, en centrales térmicas o nucleares.

Adopta diferentes formas según el fluido y el medio. En el caso de un sistema fluido/aire, está compuesto por un tubo de diámetro constante que curva 180° cada cierta longitud y unas láminas, generalmente de aluminio, entre las que circula el aire.

Un condensador es un **cambiador de calor latente** que convierte el vapor de su estado gaseoso a su estado líquido, también conocido como fase de transición.

TIPOS DE CONDENSADORES

Los tipos de condensadores más utilizados en una máquina frigorífica son los siguientes:

1. CONDENSADORES DE TUBOS Y ALETAS

Se utilizan cuando se disipa el calor a una corriente de aire.

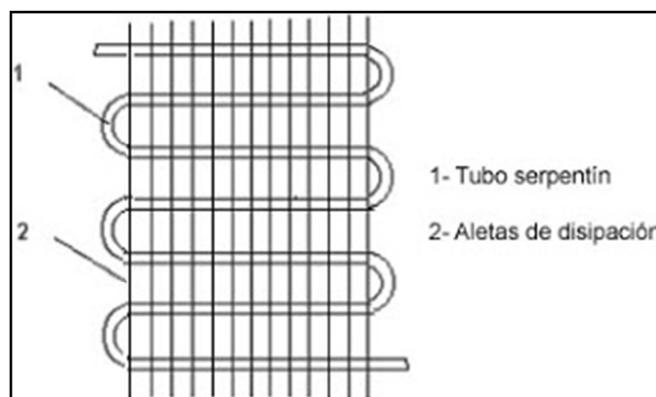


FIGURA 2.13: CONDENSADOR DE TUBOS Y ALETAS

2. CONDENSADORES DE PLACAS

Se utilizan cuando se disipa el calor a una corriente de agua.

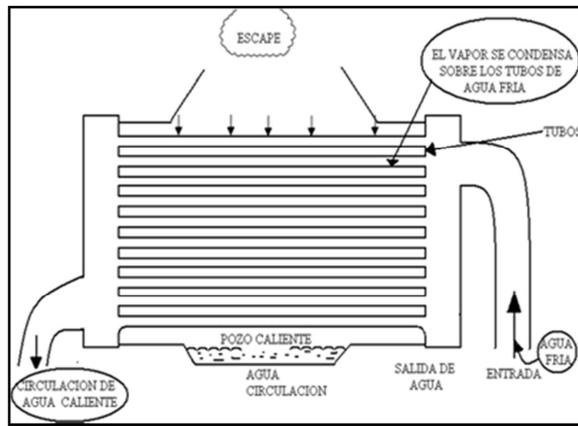


FIGURA 2.14: CONDENSADORES DE PLACAS

2.1.5.4. Válvula De Expansión

Es un tipo de Dispositivo de expansión (un elemento de las máquinas frigoríficas por compresión) en el cual la expansión es regulable manual o automáticamente.

Se compone de:

- Un cuerpo compuesto por una cámara en la cual se produce la expansión, al pasar el fluido refrigerante a ésta a través de un orificio cilindro-cónico obturado parcialmente por un vástago. Y los tubos de entrada y salida del fluido.
- Un elemento de potencia que actúa sobre el vástago para abrir o cerrar el paso de refrigerante a la cámara de expansión.
- Un regulador o tornillo que nos limita la cantidad mínima de caudal.
- Un bulbo sensor situado a la salida del evaporador, conectado por un tubo capilar al elemento de potencia y que actúa sobre éste.

- Un tubo de compensación de presión conectado también a la salida del evaporador, y que ayuda a funcionar al obturador.

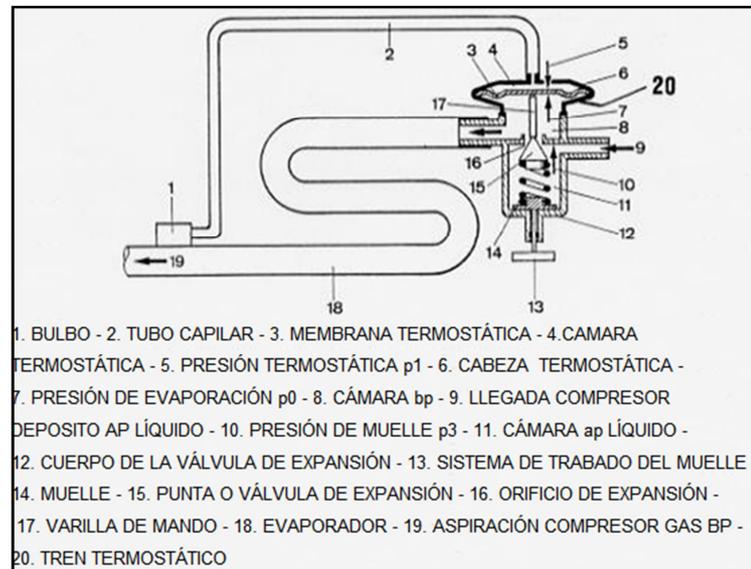


FIGURA 2.15: VÁLVULA DE EXPANSIÓN Y SUS PARTES

TIPOS VÁLVULA DE EXPANSIÓN

1. VÁLVULA DE EXPANSIÓN MANUAL

Es la válvula de expansión en la que la regulación se realiza mediante un tornillo. En este tipo de válvulas el sobrecalentamiento no depende de la temperatura de evaporación del refrigerante en su estado gaseoso, sino que, es fijo.

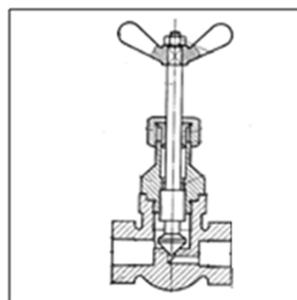


FIGURA 2.16: VÁLVULA DE EXPANSIÓN MANUAL

2. VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA

Válvula de expansión; denominada VET o TXV, la cual actúa por medio de un elemento de expansión controlado por un bulbo sensor, el cual regula el flujo del refrigerante líquido a través del orificio de la VET

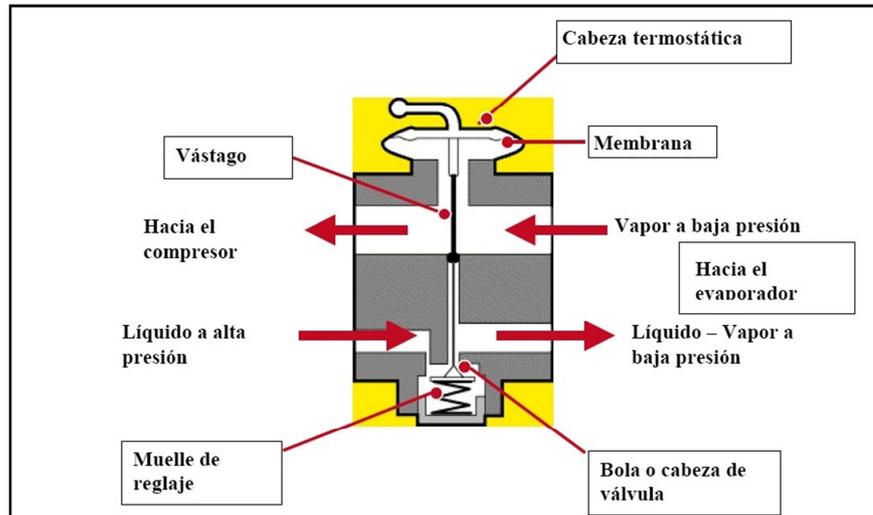


FIGURA 2.17: VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA

3. VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA CON COMPENSACIÓN DE PRESIÓN EXTERNA

Válvula de expansión termostática con compensación de presión externa; denominada VETX, es una derivación de la VET para equipos medianos o grandes o que trabajen a altas presiones y variaciones de carga térmica. Además estas deben ser utilizadas en sistemas donde el evaporador tiene varios circuitos, y/o está acoplado a un distribuidor de refrigerante.

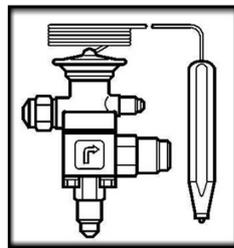


FIGURA 2.18: VÁLVULA DE EXPANSIÓN CON COMPENSACIÓN DE PRESIÓN EXTERNA

4. VÁLVULA DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICA O ELECTROMECAÁNICA

Válvula de expansión electrónica o electromecánica; trabaja mediante un control electrónico, en el cual sensores de temperatura envían señales a un CI (circuito integrado) y este mediante esos datos mantiene un sobrecalentamiento dentro de los parámetros permitidos para el funcionamiento del equipo.

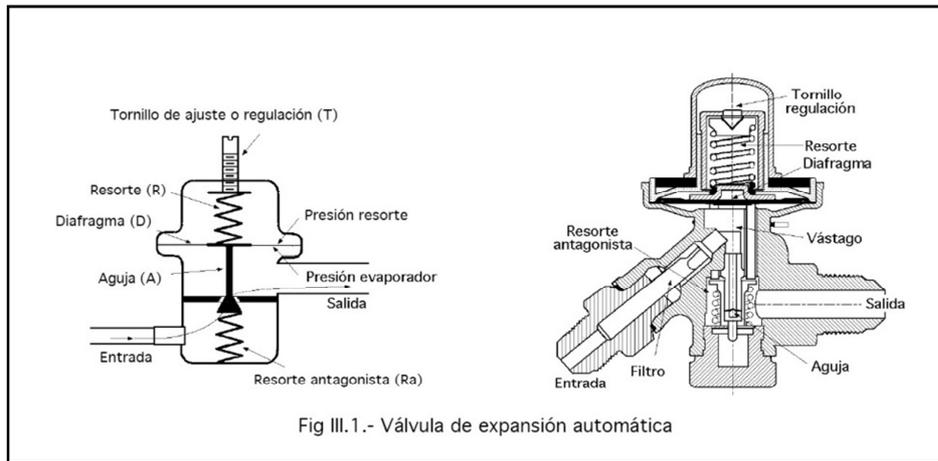


FIGURA 2.19: VÁLVULA DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICA O ELECTROMECAÁNICA

5. VÁLVULA DE EXPANSIÓN AUTOMÁTICA

Válvula de expansión automática; la que mantiene una presión constante en el evaporador inundado alimentando una mayor o menor cantidad de flujo a la superficie del evaporador, en respuesta a los cambios de carga térmica que se tengan en el mismo.

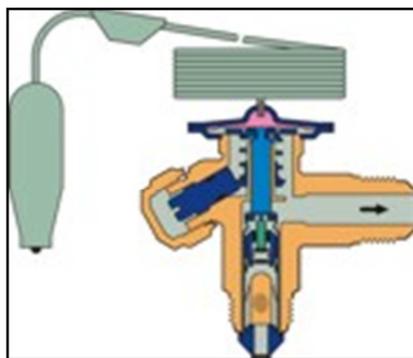


FIGURA 2.20: VÁLVULA DE EXPANSIÓN AUTOMÁTICA

2.1.6. EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y SUS COMPONENTES

1. TERMOSTATO

Su función es apagar o encender automáticamente el compresor a fin de mantener el área refrigerada dentro de un campo de temperaturas.



FIGURA 2.21: TERMOSTATO

2. FILTRO DE HUMEDAD

La humedad produce obstrucciones y problemas en el lubricante del compresor.



FIGURA 2.22: FILTRO DE HUMEDAD

3. RECIBIDOR

Depósito de refrigerante líquido, usualmente en equipos "Bomba de calor".



FIGURA 2.23: FILTRO DE HUMEDAD

4. PRESOSTATOS ANALÓGICOS Y DIGITALES

Presostatos, utilizados para controlar la presión y como seguridad en protección de sistemas.



FIGURA 2.24: PRESOSTATOS ANALÓGICOS Y DIGITALES

5. MIRILLAS

Mirillas, utilizadas para monitorear el nivel y calidad del refrigerante.



FIGURA 2.25 MIRILLA

2.2. REFRIGERANTES

2.2.1. LOS REFRIGERANTES DEBEN SER SEGUROS

a) NO DEBE SER TÓXICO NI VENENOSO

Puesto que los refrigerantes son manejados por muchas personas, desde el fabricante, al distribuidor hasta el usuario, no deben representar ningún peligro.

La mayoría de los refrigerantes sintéticos (hechos por el hombre, no encontrados en la naturaleza) no son tóxicos, y el riesgo es muy leve o prácticamente inexistente. Sin embargo, hay algunos refrigerantes que son realmente dañinos al hombre, aún en pequeñas concentraciones.

En altas concentraciones en el aire, cualquier refrigerante puede causar asfixia, debido a que desplazan el aire y crean insuficiencia de oxígeno.

La magnitud del daño depende de la concentración de refrigerante, su naturaleza y del tiempo que se esté expuesto a él.

b) CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES POR SU TOXICIDAD

En muchos países, los refrigerantes están bien clasificados de acuerdo a su grado de toxicidad, y también a su grado de inflamabilidad.

Organizaciones como Underwriter's Laboratories, Inc. (UL) y National Board of Fire Underwriter's (NBFU) en Estados Unidos, han clasificado los refrigerantes de acuerdo a su toxicidad en 6 grupos.

Los refrigerantes del grupo 1 como se puede apreciar en la tabla 2.1, son los más tóxicos, y los del grupo 6 son los menos tóxicos.

TABLA 2.1: CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES POR SU TOXICIDAD

GRUPO	DEFINICION	EJEMPLOS
1	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 0.5% a 1% con duración de exposición de 5 minutos son letales o producen daños serios.	Bióxido de Azufre (R-764).
2	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 0.5% a 1% con duración de exposición de 30 minutos son letales o producen daños serios.	Amoniaco, Bromuro de Metilo.
3	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 2% a 2.5% con duración de exposición de 1 hora son letales o producen daños serios.	Tetracloruro de Carbono, Cloroformo y Formato de Metilo.
4	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 2% a 2.5% con duración de exposición de 2 hora son letales o producen daños serios.	Dicloroetileno, Cloruro de Metilo y Bromuro de Etilo.
Entre 4 y 5	Clasificados como algo menos tóxico que el grupo 4.	Cloruro de Metileno, Cloruro de Etilo y R-113.
5a	Mucho menos tóxico que el grupo 4 pero algo más tóxico que el grupo 6.	R-11, R-22 y Bióxido de Carbono.
5b	Gases o vapores cuyos datos disponibles los clasificarían ya sea en el grupo 5a o grupo 6.	Etano, Propano y Butano.
	Gases o vapores los cuales en concentraciones de por lo menos	R-12, R-500, R-114.

Por ejemplo, como se puede apreciar en la tabla 2.1, el R-12 no es tóxico y una persona puede vivir en una atmósfera con un alto porcentaje de este refrigerante durante períodos prolongados. En cambio, otros refrigerantes como el amoníaco (R-717), son tan tóxicos, que una exposición de 30 minutos en aire, con una concentración de 0.5% en volumen, se considera peligrosa y hasta letal.

c) NO DEBE SER EXPLOSIVO NI INFLAMABLE

Los refrigerantes varían extremadamente en cuanto a su facultad para arder o soportar la combustión.

2.2.2. LOS REFRIGERANTES DEBEN SER DETECTABLES

1. FÁCIL DE DETECTAR CUANDO SE FUGA

Todos los refrigerantes tienen una tendencia a fugarse, y cuando esto sucede, el refrigerante seleccionado debe ser fácilmente detectable. En la actualidad, esto ya no es una deficiencia en ningún refrigerante, ya que se han desarrollado varios métodos para detectar fugas de cualquier refrigerante.

Existen varios factores que determinan la tendencia de los refrigerantes a fugarse.

Presión, viscosidad y densidad, son algunos de ellos. Cuando estas características son las mismas para diferentes refrigerantes, el que tiene más tendencia a fugarse, es el de menor peso molecular.

El refrigerante con mayor peso molecular, tiene moléculas más grandes. Esto significa que por una grieta de cierto tamaño, se fugaría más fácilmente un refrigerante de bajo peso molecular, que uno de mayor peso molecular.

TABLA 2.2: PESO MOLECULAR Y OLORES CARACTERÍSTICOS DE ALGUNOS REFRIGERANTES.

Refrigerante No.	TENDENCIA A FUGARSE		
	Olor Característico	Peso Molecular	$\sqrt{P.M.}$
12	Ligeramente Etereo	120.93	10.99
22	Ligeramente Etereo	86.48	9.30
30	Etereo Dulce	85.00	9.22
123	Ligeramente Etereo	152.95	12.37
134a	Ligeramente Etereo	102.03	10.10
170	Etereo Dulce	30.05	5.48
500	Ligeramente Etereo	99.31	9.96
502	Ligeramente Etereo	111.63	10.56
717	Picante	17.03	4.12
718	Ninguno	18.02	4.24

En la tabla 2.2, se muestran los olores característicos, el peso molecular, y la raíz cuadrada del peso molecular de algunos refrigerantes. Matemáticamente, el tamaño de las moléculas de un compuesto, es proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular.

En la tabla 2.2 se puede observar que el amoníaco, tiene una molécula de aproximadamente la mitad de tamaño de la del R-22. Esto significa que, en condiciones iguales de las propiedades mencionadas, se requeriría una grieta del doble de tamaño para que se fugue el R-22 que para el R-717.

Esta es la razón por la que en las instalaciones de refrigeración de amoníaco, es muy común el olor, debido a la facilidad con que se fuga este refrigerante.

Un poco de olor en los refrigerantes puede ser una ventaja, ya que cualquier fuga, por muy pequeña, podría ser notada de inmediato y efectuarse la corrección de la misma, antes de perder todo el refrigerante o que se haya ocasionado un daño mayor.

2. DETECCIÓN DE FUGAS.

La detección de fugas es un problema continuo, principalmente con los refrigerantes que no tienen olor apreciable, como los halogenados, pero en la actualidad se han mejorado los métodos que facilitan su detección.

Existen varias razones para detectar fugas, como son: conservación de los refrigerantes, reducción de emisiones a la atmósfera y protección de los empleados.

Con la precaución debida, se pueden utilizar el nitrógeno y el bióxido de carbono con seguridad, cuando se presurice un sistema para detectar fugas. La presión en el cilindro de nitrógeno, es aproximadamente 14MPa (2,000 psig), y en un cilindro de bióxido de carbono es de aproximadamente 6 MPa (800 psig).

3. SOLUCIONES DE BURBUJAS

El método de burbujas para detectar fugas, es probablemente tan antiguo como la necesidad de detectar las fugas, pero aún tiene su lugar.

Consiste en usar una solución jabonosa, la cual se aplica con cepillo o esponja sobre el área donde se sospecha que hay fuga. El gas que pasa a través de la solución formará burbujas.

Existen soluciones especiales patentadas y diseñadas para detectar fugas, en vez de simple jabón. Estas forman una burbuja con una película más fuerte y más durable.

4. TINTES

Los tintes tanto de refrigerante como fluorescentes, son otra herramienta para ayudar a resolver problemas de fugas. El tinte de refrigerante dentro de un sistema, producirá un color rojo brillante en el punto de la fuga.

El refrigerante teñido de rojo (esta mezcla la prepara el fabricante de refrigerante) se introduce al sistema.

Al escapar el refrigerante teñido por alguna grieta, el refrigerante se evapora y el tinte queda sobre la tubería en forma de mancha roja, muy persistente. Para asegurar una máxima detección de fugas, en la mayoría de los sistemas debe ser reemplazada la carga completa de refrigerante, por el refrigerante que contiene el tinte.

5. DETECTOR ELECTRÓNICO

El detector de fugas más sensible de todos, es el electrónico. Utiliza circuitos transistorizados y el abastecimiento de energía es por medio de pilas. Existen tres tipos:

- a) Detector de fuentes de Iones.
- b) Tipo termistor (basado en cambio de temperatura).
- c) Tipo dieléctrico, mide el balance en el aire circundante, y luego responde sólo a gas halógeno.

El detector de fugas electrónico se ha vuelto el más ampliamente utilizado, tanto en el campo de servicio, como en la fabricación y ensamble de equipos. Para ponerlo en operación, el detector se enciende y se ajusta en una atmósfera normal. Al hacer esto, el detector sólo zumba; cuando "siente" algún refrigerante halogenado (R-12, R-22, R-502, R-500, etc.) el detector lo delatará.

2.2.3. EL PUNTO DE EBULLICIÓN DE UN REFRIGERANTE

La definición formal de **punto de ebullición** es aquella temperatura en la cual la presión de vapor del líquido iguala a la presión de vapor del medio en el que se encuentra.¹ Coloquialmente, se dice que es la temperatura a la cual la materia cambia del estado líquido al estado gaseoso.

La temperatura de una sustancia o cuerpo depende de la energía cinética media de las moléculas. A temperaturas inferiores al punto de ebullición, sólo una pequeña fracción de las moléculas en la superficie tiene energía suficiente para romper la tensión superficial y escapar. Este incremento de energía constituye un intercambio de calor que da lugar al aumento de la entropía del sistema (tendencia al desorden de las partículas que lo componen su cuerpo).

2.2.4. CARACTERÍSTICAS DE BOMBEO

Por su diseño, los compresores con reducción de carga por corte de succión tienen mayores trayectos de fugas que los compresores que no cuentan con esa característica. Los compresores con control eléctrico de capacidad se han instalado exitosamente con control de bombeo continuo o automático del refrigerante. Para evitar que el compresor se opere y se apague en ciclos breves, el diseñador del sistema no debería usar el control de bombeo continuo cuando los puntos de inicio y de corte para la presión de succión están a sólo 30 psi (2.1 bar) uno del otro. Dado que los reductores de carga accionados por presión contienen un pequeño trayecto de presión alta de presión baja, los compresores se ciclarían rápidamente si se aplicara el control de bombeo continuo o automático del refrigerante.

**NO DEBE USARSE EL CONTROL DE BOMBEO CONTINUO O
AUTOMÁTICO DEL REFRIGERANTE EN NINGÚN COMPRESOR QUE ESTÉ
EQUIPADO PARA CONTROL DE CAPACIDAD ACCIONADO POR
PRESIÓN.**

2.2.5. FÓRMULA QUÍMICA DE LOS REFRIGERANTES

Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa "refrigerante". El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Es necesario estar familiarizado con los números, así como con los nombres de los refrigerantes. En la tabla 2.3, aparecen los refrigerantes más comunes.

TABLA 2.3: NOMBRE Y FORMULA QUÍMICA DE LOS REFRIGERANTES

No.	NOMBRE QUIMICO	FORMULA QUIMICA
Serie Metano		
10	Tetraclorometano (tetracloruro de carbono)	CCl ₄
11	Tricloromonofluorometano	CCl ₃ F
12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂
13	Clorotrifluorometano	CClF ₃
20	Triclorometano (cloroformo)	CHCl ₃
21	Diclorofluorometano	CHCl ₂ F
22	Clorodifluorometano	CHClF ₂
23	Trifluorometano	CHF ₃
30	Diclorometano (cloruro de metileno)	CH ₂ Cl ₂
40	Clorometano (cloruro de metilo)	CH ₃ Cl
50	Metano	CH ₄
Serie Etano		
110	Hexacloroetano	CCl ₃ CCl ₃
113	1,1,2-triclorotrifluoroetano	CCl ₂ FCClF ₂
115	Cloropentafluoroetano	CClF ₂ CF ₃
123	2,2-Dicloro - 1,1,1-Trifluoroetano	CHCl ₂ CF ₃
134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	CH ₂ FCF ₃
141b	1,1-Dicloro-1-fluoroetano	CH ₃ CCl ₂ F
150a	1,1-Dicloroetano	CH ₃ CHCl ₂
152a	1,1-Difluoroetano	CH ₃ CHF ₂
160	Cloroetano (cloruro de etilo)	CH ₃ CH ₂ Cl
170	Etano	CH ₃ CH ₃
Hidrocarburos		
290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃
600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
600a	2-Metilpropano (isobutano)	CH(CH ₃) ₃
Compuestos Inorgánicos		
702	Hidrógeno	H ₂
704	Helio	He
717	Amoníaco	NH ₃
718	Agua	H ₂ O
720	Neón	Ne
728	Nitrógeno	N ₂
732	Oxígeno	O ₂
744	Bióxido de Carbono	CO ₂
764	Bióxido de Azufre	SO ₂
Mezclas Zeotrópicas		
400	R-12/114 (60/40)	
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)	
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)	
402A	R-22/125/290 (38/60/2)	
402B	R-22/125/290 (60/38/2)	
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
407B	R-32/125/134A (10/70/20)	
407C	R-32/125/134a (23/25/52)	
408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	
409A	R-22/124/142b (60/25/15)	
410A	R-32/125 (50/50)	
Mezclas Azeotrópicas		
500	R-12/152a (73.8/26.2)	
502	R22/115 (48.8/51.2)	
503	R-223/13 (40.1/59.9)	
507	R-125/143a (50/50)	

2.2.6. CÓDIGO DE COLORES DE LAS BOTELLAS DE REFRIGERANTES

Los contenedores utilizados para el manejo de refrigerantes ya sea a granel, en tambores, latas o cilindros retornables o desechables, se codifican con algún color. Hace algunas décadas no había unificación de colores por parte de los fabricantes de refrigerantes. Posteriormente, se estandarizó un código de colores adoptado mundialmente por los fabricantes, aunque no era un método oficialmente reconocido para identificar el contenido del cilindro, como sucedía con otros gases industriales, tales como el nitrógeno, el acetileno, el oxígeno, etc.

Esta codificación, permite a los técnicos y contratistas identificar rápida y fácilmente el refrigerante, por el color del contenedor, evitando mezclar accidentalmente diferentes refrigerantes en un sistema. Pero siempre se debe leer la etiqueta e identificar el contenido, antes de utilizarlo.

A continuación, en la tabla 2.4, se muestra una lista de los refrigerantes más populares que incluye algunos que ya están discontinuados, y también algunos de los nuevos.

TABLA 2.4: CÓDIGO DE COLORES PARA LOS CONTENEDORES DE ALGUNOS REFRIGERANTES COMUNES

REFRIG. N°	COLOR	PMS *
R-11	NARANJA	021
R-12	BLANCO	---
R-13	AZUL CLARO / BANDA AZUL OSCURO	2975
R-22	VERDE	352
R-123	GRIS CLARO (PLATA)	428
R-134a	AZUL CLARO (CELESTE)	2975
R-401A (MP-39)	ROJO-ROSADO (CORAL)	177
R-401B (MP-66)	AMARILLO-CAFE (MOSTAZA)	124
R-402A (HP-80)	CAFE CLARO (ARENA)	461
R-402B (HP-81)	VERDE ACEITUNA	385
R-404A (HP-62)	NARANJA	021
R-407C (AC-9000)	GRIS	---
R-500	AMARILLO	109
R-502	MORADO CLARO (ORQUIDEA)	251
R-503	AZUL-VERDE (ACQUA)	3288
R-507 (AZ-50)	MARRON	167
R-717	PLATA	877

2.2.7. RECUPERACIÓN, RECICLADO DE REFRIGERANTES

Para muchos de los vinculados al quehacer de la refrigeración y climatización resulta muy conocido el efecto provocado por los gases refrigerantes a la atmósfera, a los cuales se les atribuye gran parte de la culpa del agujero en la capa de ozono.

Las sustancias como los clorofluorocarbonos (CFCs) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), al poseer cloro, reaccionan con la molécula del ozono produciendo una consecuencia fotoquímica en cadena, la cual acaba por romper la molécula de ozono.

Este daño generado en buena medida por los CFCs y los HCFCs se debe a las malas prácticas ejecutadas por técnicos y profesionales quienes durante años e incluso actualmente liberan los gases refrigerantes a la atmósfera porque no saben qué hacer con él.

Pero estas malas prácticas no sólo se siguen implementando con estos gases clorados, sino también con los gases considerados de nueva generación como el R-410A, creados para sustituir a los CFCs y a los HCFCs, gracias a que su Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO) es cero, pues no contiene cloro y por ello se sostiene que son refrigerantes definitivos. Sin embargo tiene valores de Potencial de Calentamiento Global (PCG), lo que implica una influencia en el efecto invernadero.

Aunque estos últimos son llamados refrigerantes naturales por permanecer poco tiempo en la atmósfera, su uso aún no está muy difundido por las implicaciones técnicas y de seguridad que conlleva en los sistemas basados en estos tipos de refrigerantes.

Del mismo modo han desarrollado tecnologías que posibiliten la continuidad del negocio, una de estas innovaciones es haber logrado el proceso de Recuperación, Reciclaje y Regeneración (Reclaim) de gas refrigerante. De acuerdo a la guía 3-1990 de ASHRAE, se tienen las siguientes definiciones:

1. RECUPERAR

Significa remover el gas refrigerante, en cualquier condición, de un sistema y almacenarlo en un contenedor externo, sin analizarlo ni procesarlo.

2. RECICLAR

Es limpiar el gas refrigerante para volverlo a utilizar, retirándole el aceite o haciéndolo pasar por múltiples dispositivos, tales como filtros deshidratadores, que reducen la humedad, la acidez y la presencia de sólidos. Este término usualmente se aplica a los procedimientos que se pueden implementar en sitio o en el taller de servicio.

3. REGENERAR (RECLAIM)

Es el reproceso del gas refrigerante hasta que alcance las especificaciones de un gas nuevo. Este proceso utiliza destilación. Se requiere de un análisis químico del gas para determinar que alcanzó las especificaciones. Regenerar implica el uso de procesos y procedimientos que solamente se pueden ejecutar en un equipo reprocesador o en la planta del fabricante.

4. CONSIDERACIONES DE LA DEFINICIÓN DE REGENERAR O RECLAIM

El análisis químico es un procedimiento clave al regenerar el gas. La frase especificaciones de un gas nuevo, significa practicar un análisis químico para asegurar que se alcanzaron las especificaciones de pureza de acuerdo con el Estándar 700 de ARI. A pesar de haber alcanzado los niveles de pureza, después de haber reprocesado el gas, puede decirse que el refrigerante NO se regeneró, a menos que se le haya practicado el análisis químico.

5. RECUPERACIÓN Y DESTRUCCIÓN

Cuando un refrigerante recuperado de equipos de refrigeración y aire acondicionado se encuentra contaminado o mezclado con otros refrigerantes,

no es factible su reciclaje o regeneración y por lo tanto no se podrá volver a utilizar. La mejor opción para un refrigerante contaminado o mezclado es enviarlo a un proceso para su disposición final y destrucción.

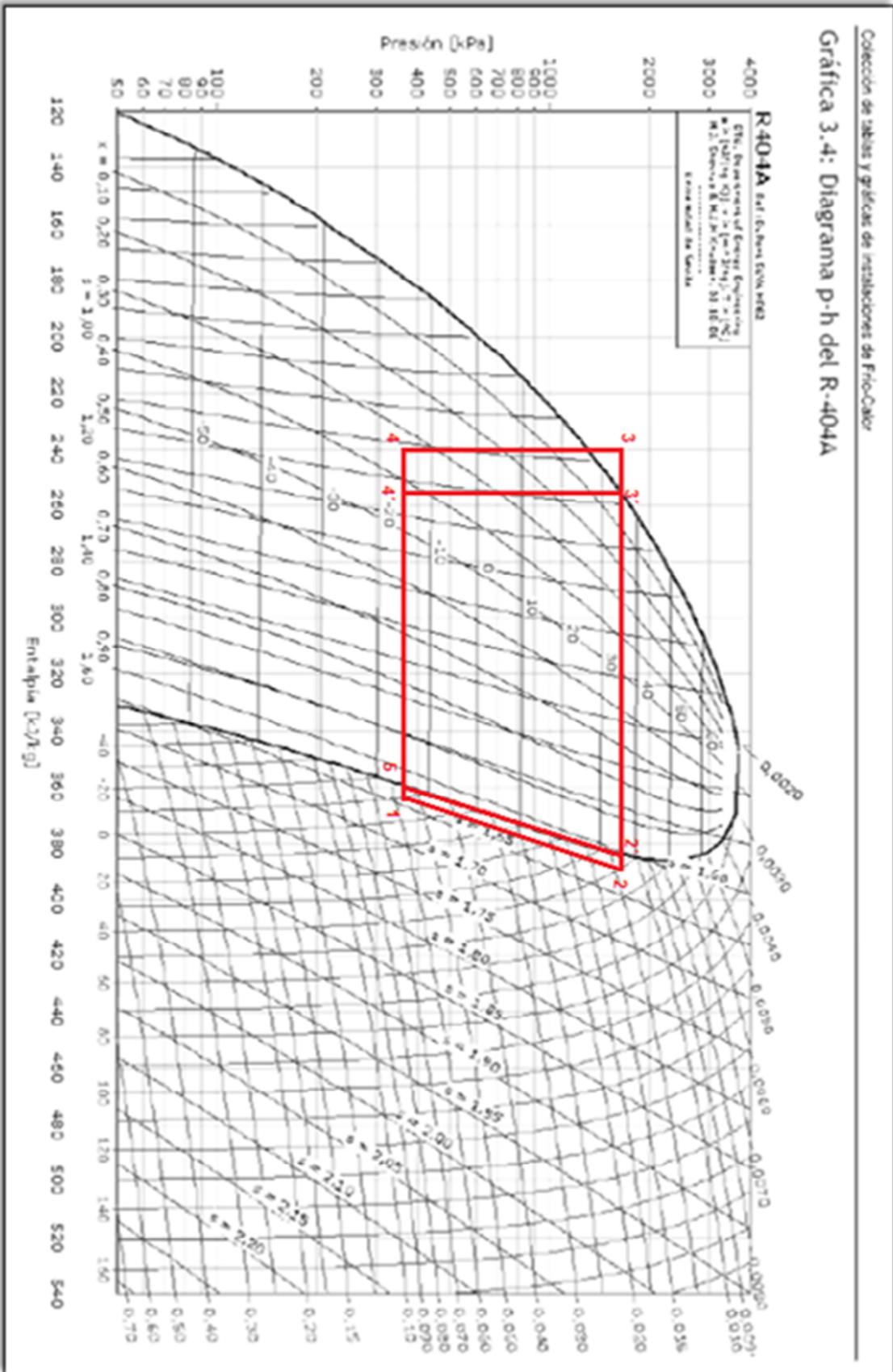
2.2.8. TRAZADO DEL CICLO DEL REFRIGERANTE

Con la ayuda del diagrama de presión – entalpía de un fluido- es posible definir un ciclo de refrigeración donde, en determinado momento, el refrigerante se encuentra en estado de vapor sobrecalentado a baja presión, cuando proviene del evaporador. Luego éste es comprimido, el trabajo es adicionado al sistema, de lo que resulta un aumento de presión en la descarga. Continúa entonces en estado de vapor sobrecalentado, ahora con alta presión y alta temperatura, y luego tiene lugar la condensación. En este punto el calor es retirado del sistema y el refrigerante está en estado de líquido sub-enfriado.

En el condensador el intercambio de calor se realiza en tres etapas: en la primera, el calor sensible es retirado isobáricamente, pasando el fluido de vapor de sobrecalentado a vapor saturado; a continuación, el fluido pasa por un proceso de cambio de fase de forma isobárica-isotérmica para, finalmente, cumplir un proceso de subenfriamiento a alta presión en estado de líquido subenfriado.

El fluido debe perder presión y temperatura para retornar al sistema de baja presión. A tal fin, el refrigerante pasa por un dispositivo de expansión donde el fluido se encuentra en una mezcla líquido más vapor. El proceso de evaporación completa el ciclo. En este paso el fluido irá absorbiendo calor, cambiando de fase. Antes de reiniciar el ciclo, el refrigerante es sobrecalentado, evitando así la presencia de líquido en el compresor, como se puede ver en la grafica 2.3.

Gráfica 3.4: Diagrama p-h del R-404A



GRAFICA 2.3: CICLO TERMODINÁMICO CICLO REFRIGERANTE R404A

2.3 SECADO Y DESECADO SISTEMA DEL SECADOR

2.3.1 DESCRIPCIÓN

2.3.1.1 Deseccación

La deseccación de un producto consiste en eliminar total o parcialmente los líquidos que lo impregnan. Normalmente se refiere al agua, pero es extensible a otros líquidos como alcohol o éter.

La humedad en un producto puede estar simplemente adherida (superficial), llenar los poros (capilar) o impregnar toda la masa (constitucional).

La deseccación puede ser natural, dependiendo de las condiciones ambientales, y por tanto de eficacia variable, y artificial, en cuyo caso puede realizarse de las siguientes maneras:

- Mecánicamente, por prensado, aspiración, centrifugado o filtración.
- Por procesos físico-químicos en los que la humedad es absorbida por sustancias higroscópicas (absorbentes de humedad).
- Térmicamente con aire o gases, que arrastran la humedad evaporada.
- Térmicamente sin aire, mediante la evaporación en autoclave, a vacío o por calentamiento dieléctrico.

Tan sólo las dos últimas formas son aplicables a secaderos industriales.

2.3.1.2 Secaderos Y Su Consumo En La Industria

Se denominan secaderos a los equipos que eliminan o reducen el agua (humedad) de un producto utilizando energía calorífica.

Las partes básicas de un secadero son:

- Hogar: donde se generan los gases calientes que aportarán el calor necesario para la operación de secado. Si el secadero es eléctrico, esta parte no existe.
- Cámara de secado: es el secadero propiamente dicho.
- Ventiladores: que impulsan el aire caliente a través del secadero.

2.3.1.3 Conceptos Básicos

1) Formas De Transmisión De Calor

Las formas de transmisión de calor son tres:

- CONDUCCIÓN

Es la típica en sólidos. La energía se transmite por vibración entre moléculas contiguas.

- CONVECCIÓN

Característica de los fluidos. El calor se transmite por mezcla entre moléculas con mayor energía y otras de menor energía.

- RADIACIÓN

El calor se transmite desde una fuente radiante hasta un cuerpo, sólido o fluido, sin necesitar un medio material para su transferencia.

2) Eficiencia Térmica De Un Secadero

Es un indicador de la bondad de la operación de secado. Interesa que sea lo más alta posible. La ecuación general de eficiencia sería:

$$E = \frac{\text{Calor utilizado en el secado}}{\text{Calor utilizado en el secado} + \text{Calor perdido en el aire a la salida}}$$

EFICIENCIA TÉRMICA

3) Proceso De Secado

En el proceso de secado deben distinguirse tres tiempos:

- **PERIODO AB.**

Es el periodo de calentamiento inicial del producto en el cual la velocidad de secado aumenta.

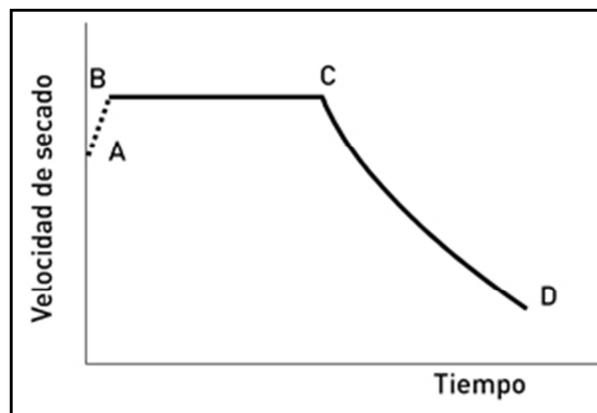
- **PERIODO BC.**

La velocidad de secado permanece constante y es independiente del sólido.

- **PERIODO CD.**

La humedad superficial ya ha sido eliminada y ahora es preciso evaporar la humedad interna, que ha de emigrar a la superficie. La velocidad de secado decrece.

En la grafica 2.4, podemos observar cual es el comportamiento de la curva dependiendo del periodo analizado.



GRAFICA 2.4: VELOCIDAD DE SECADO vs. TIEMPO

2.3.2 COMPONENTES

Los secaderos son equipos extremadamente variables en forma y componentes, dependiendo de la aplicación industrial, del estado que presente el producto a secar, y de la forma de transmisión de calor que se emplee. Por eso, para definir los componentes de esta tecnología, describiremos los distintos tipos de secaderos.

2.3.3 TIPOS DE SECADEROS

2.3.3.1 Secaderos Por Conducción

Son típicos de la industria papelera, donde la banda de papel húmedo se seca por contacto con la superficie exterior de un cilindro hueco en cuyo interior se condensa vapor de agua. En la figura 2.26, se puede apreciar la trayectoria del papel y los puntos de contacto.

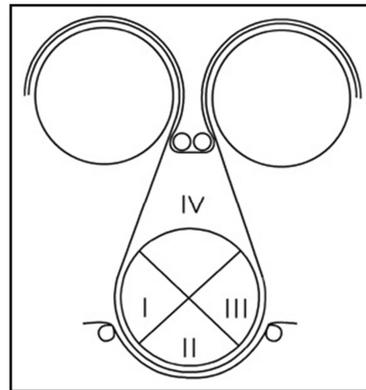


FIGURA 2.26 SECADEROS POR CONDUCCIÓN

2.3.3.2 Secaderos Por Convección

Pueden ser de convección natural al aire, pero son mucho más frecuentes los secaderos de convección forzada utilizándose como fluido caliente los humos procedentes de una combustión o aire calentado eléctricamente o por otros medios.

2.3.3.3 Secaderos De Gases Calientes

1) TIPO TAMBOR GIRATORIO

Está constituido por un cilindro tubular más o menos inclinado que puede girar a distintas velocidades. El producto a secar entra por la parte más alta del tambor, y debido a la lenta rotación del secadero, avanza por el mismo y se mezcla íntimamente, gracias a unos dispositivos interiores adecuados, siendo secado por los gases que se introducen en el tambor.

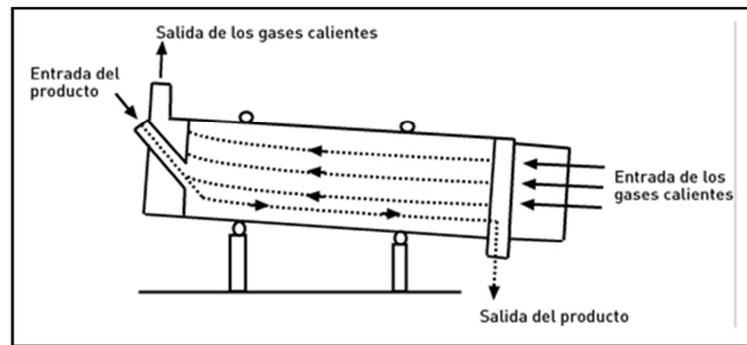


FIGURA 2.27: TIPO TAMBOR GIRATORIO

2) SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO

Los gases se introducen en el lecho a contracorriente a través de una mufla (secador) que los calienta, y fluidiza las partículas sólidas a secar, que se introducen por arriba desde una tolva y son descargadas por la parte inferior.

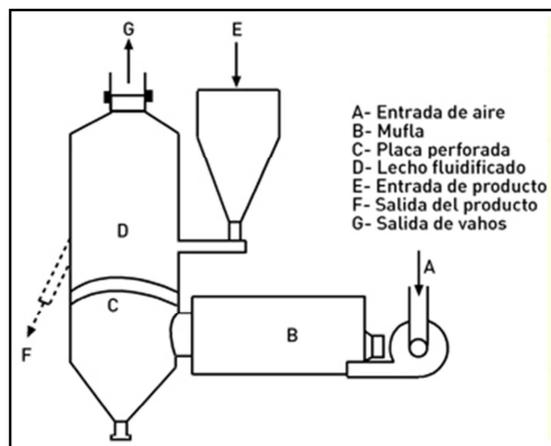


FIGURA 2.28: SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO

2.3.3.4 Secador De Aire Caliente

1) SECADEROS A PRESIÓN ATMOSFÉRICA:

- a) Estufas de secado.
- b) Armarios de secado.
- c) Secaderos de toberas.
- d) Canales de secado.
- e) Secaderos de bandejas anulares.

2) SECADOR TIPO FLASH

En los que el producto es transportado neumáticamente por un fluido que actúa simultáneamente como transportador y como agente de secado. Están constituidos por un tubo elevador vertical en el que la corriente de aire caliente va de abajo a arriba, arrastrando el producto a secar en forma de grano fino, que se separa luego con uno o varios ciclones.

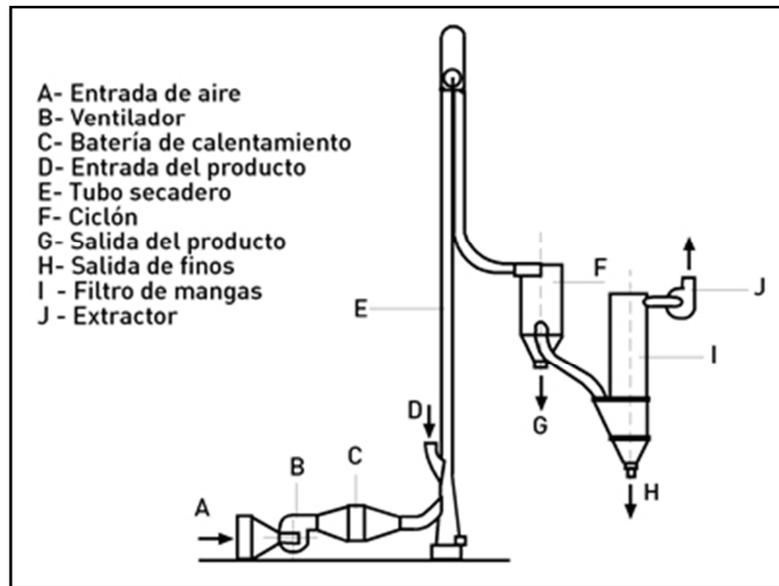


FIGURA 2.29: SECADOR TIPO FLASH

2.3.3.5 Secaderos Por Radiación

El producto es sometido a radiación, operando normalmente en continuo y con radiación infrarroja.

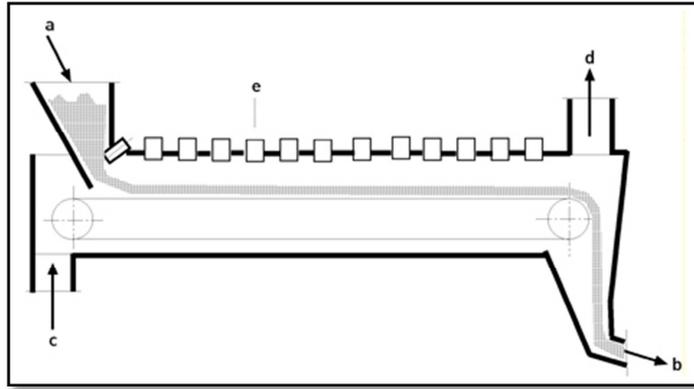


FIGURA 2.30: SECADEROS POR RADIACIÓN

2.3.3.6 Secaderos Combinados

1) SECADEROS DE VACÍO

Reducen la temperatura de evaporación del agua mediante la operación a presión reducida (vacío). Son especialmente indicados para operaciones de liofilización. Su uso es necesario cuando:

- a) El producto a secar no admite prácticamente calentamiento y se requiere rapidez en el proceso. Se opera a la presión de vapor correspondiente a la máxima temperatura que admita el producto.
- b) Se intenta recuperar el líquido que eliminamos del producto por su valor u otra circunstancia, condensándolo a la salida.
- c) La sustancia a desecar se descompone en presencia del aire.

2) SECADEROS DE ALTA FRECUENCIA, POR DIELECTRICIDAD

El calentamiento y desecación se produce al someter al cuerpo a una corriente eléctrica que genera calor por efecto Joule.

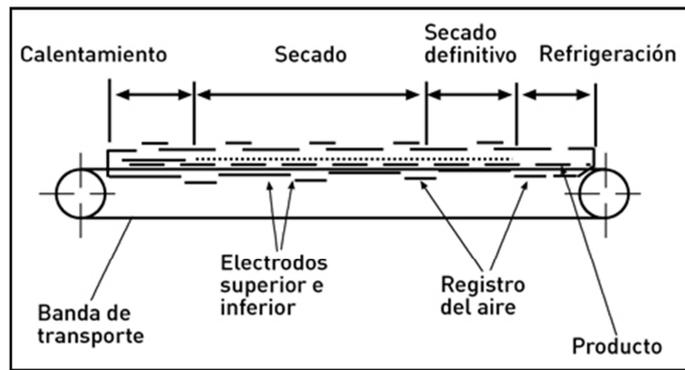


FIGURA 2.31: SECADEROS DE ALTA FRECUENCIA, POR DIELECTRICIDAD

2.3.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES

El secado de productos, como ya se ha visto, se puede realizar con secaderos (energía térmica) o con otros medios, mecánicos o químicos.

La principal ventaja del uso de secaderos térmicos es que el grado de eliminación de la humedad puede llegar a ser muy alto, frente a, por ejemplo, el secado mecánico por compresión, que frecuentemente necesita de un posterior secado térmico.

El principal inconveniente de estos secaderos es su alto consumo energético, debido en gran parte al gran calor latente de vaporización del agua, lo que requiere de un alto aporte térmico en el secadero.

También podemos señalar que en el caso de secado de gases húmedos, los mejores resultados se obtienen con métodos de absorción química y no con secaderos.

2.3.5 APLICACIONES

2.3.5.1 Aplicaciones Industriales Del Secado

Los campos industriales en los que los procesos de secado tienen una gran importancia se muestran en la siguiente tabla 2.5.

Las industrias agroalimentarias y papeleras son las usuarias más importantes de los procesos de secado, que supone un consumo de más del 60 % del total en dicho campo industrial.

En los campos industriales textil, químico, cemento y materiales de construcción, la energía consumida en los procesos de secado supone del 25 % al 35 % del consumo energético total, en la tabla 2.5 tenemos otros ejemplos y diversas aplicaciones.

TABLA 2.5: APLICACIONES INDUSTRIALES DEL SECADO

Aplicaciones industriales de secaderos				
Sector industrial	Proceso	T _{trabajo} (°C)	Tipo de secadero	Consumo (kWh/kg)
Papelero	Fabricación de pasta, concentrado y papel	100 - 130	Conducción, convección, radiación y evaporadores	8,1 - 13,9
Alimentaria	Preparación de azúcar, leche, cereales, forrajes, etc.	60 - 900	Convección, evaporadores, atomizadores, cristalizadores, hornos rotativos	2,3 - 17,4
Textil	Secado de tejidos	80 - 140	Continuos o intermitentes por convección forzada o conducción	13,9 - 40,6
Química	Múltiples procesos	60 - 130	Gran variedad	Muy variable
Cemento	Cocción	100 - 450	Hornos de cocción con secciones de secado por convección directa	11,6 - 13,9
Materiales de construcción	Cerámica y refractarios	80 - 120	Varios	10,4 - 13,9
Electrometalurgia	Fabricación de alúmina, electrodos para hornos de arco, ferroaleaciones, etc.	75 - 1000	Varios	2,3 - 10,4
Minería	Operaciones extractivas y de preparación del mineral	≈ 100	Varios	10,4 - 11,6

2.3.5.2 Aplicaciones De Los Distintos Tipos De Secaderos

1. SECADEROS DE TAMBOR ROTATIVO:

- a) Lignito y otros carbones.
- b) Productos pétreos.
- c) Escorias.
- d) Minerales.
- e) Productos químicos.
- f) Productos agrícolas.

2. SECADEROS TIPO FLASH:

- a) Materias pulverulentas.
- b) Materias sensibles al calor, porque el secado es corto.
- c) Productos fluidos viscosos, en extracto o pastosos.

3. ESTUFAS DE SECADO:

- a) Productos agrícolas.

4. ARMARIOS DE SECADO:

- a) Secado no continuo de cargas pequeñas.

5. CANALES DE SECADO:

- a) Cuero.
- b) Productos agrícolas.
- c) Secado semicontinuo de cargas variables.

6. SECADEROS DE BANDEJAS:

- a) Productos en bruto que puedan pelarse, de naturaleza pulverulenta, cristalina, pastosa o en trozos.

7. SECADEROS DE LECHO FLUIDIZADO:

- a) Productos que debido a su fuerte humedad no puedan secarse en el secadero de flujo continuo.

8. SECADEROS DE CONTACTO:

- b) Materias líquidas en caldo y pastosas que deban secarse en operaciones cortas.
- c) Tejidos.
- d) Papel, celulosa, cartón.

9. SECADEROS DE VACÍO:

- a) Materias sensibles a la oxidación a bajas temperaturas.
- b) Fibras sintéticas.

10. SECADEROS DIELECTRICOS:

- a) Maderas preciosas.
- b) Cerámicas.

2.3.6 MEDIDAS DE EFICIENCIA

2.3.6.1 Recuperadores Directos

Con muchos productos no es posible funcionar con temperaturas altas del aire a la entrada del secadero porque se deteriorarían. En estos casos, **la eficiencia térmica se puede incrementar volviendo a calentar parte del aire y recirculándolo a través del secadero**, con el consiguiente ahorro energético que esto supone.

A continuación se citan algunos secaderos con recuperación de calor:

- a) Secaderos turbo de bandejas: cuando no importa el contacto directo entre los gases de combustión y el producto.

- b) Secaderos de chorro de aire: se consigue una uniformización casi total del aire de secado y al mismo tiempo una recirculación parcial del aire ya utilizado.

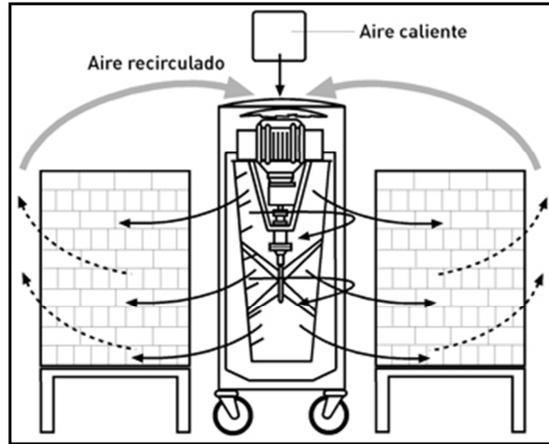


FIGURA 2.32: RECUPERADORES DIRECTOS

2.3.6.2 Recuperadores Indirectos

Suponen un ahorro energético por aumentar la eficiencia térmica del equipo, de igual forma que los recuperadores directos.

1. LECHO FLUIDIZADO CON TUBOS TÉRMICOS

Se utiliza para procesar tandas intermitentes de producto. Los conductos de entrada y de salida de aire están contiguos, lo que permite la utilización de tubos térmicos para la recuperación de calor.

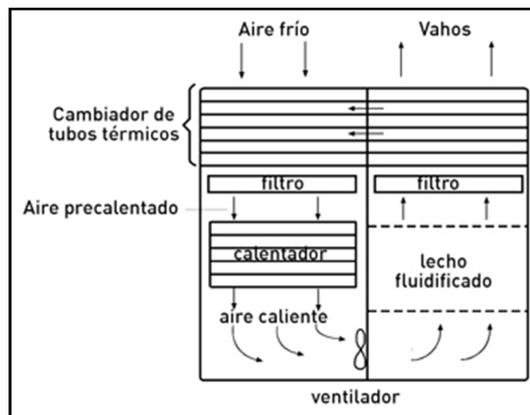


FIGURA 2.33: LECHO FLUIDIZADO CON TUBOS TÉRMICOS

2. SISTEMAS BI-TRANSFER

Utilizan un tercer fluido como vehículo de transporte de calor entre el aire de entrada y de salida, en lugar de realizarse un intercambio directo entre ellos.

3. INTERCAMBIADORES DE TUBOS Y ALETAS

Precalientan los gases de secado, como se puede apreciar en la figura 2.34.

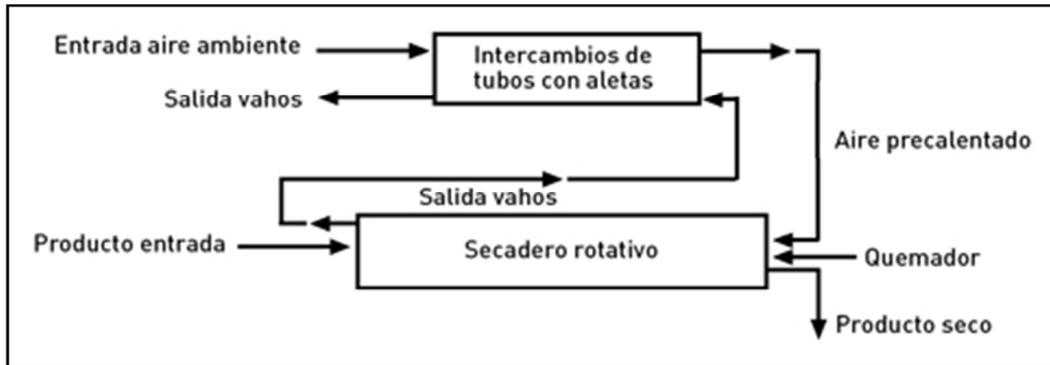


FIGURA 2.34: INTERCAMBIADORES DE TUBOS Y ALETAS

4. BOMBA DE CALOR:

Extrae calor del secadero condensando la humedad del aire saliente y recirculando el aire seco al interior de la cámara de secado. El calor absorbido por el circuito de la bomba se puede emplear para calefacción de la planta, determinado y distribuido por siguiente modelo en la figura 2.35.

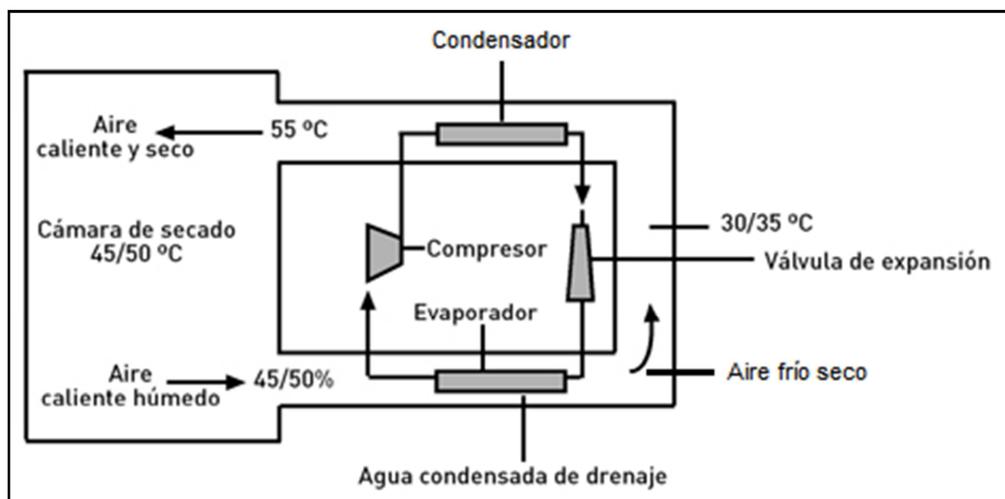


FIGURA 2.35: BOMBA DE CALOR Y SISTEMA PROPUESTO

2.3.6.3 Reconversión Del Proceso De Secado

1. MODIFICACIÓN DE LA FORMA DE SECADO.

Se trata de, en cada caso, buscar el tipo de secadero con consumo energético mínimo, y realizar un estudio económico para valorar la sustitución de éste por el actual.

2. MODIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADERO

Incluye varias medidas de ahorro:

- a) Calentar al máximo posible el aire o los gases de secado.
- b) Saturar de humedad al máximo el aire o los gases de salida.
- c) Recircular los vahos de salida parcialmente.
- d) Utilizar los calores sensible y latente de los vahos de salida para precalentar el aire comburente.
- e) Recuperar el calor residual sensible del producto secado.
- f) Presecar el producto previamente en corrientes naturales o forzadas de aire atmosférico.
- g) Recuperar otros calores residuales de la fábrica para calentamiento del aire de entrada al secadero.
- h) Utilizar gases de calderas u hornos.
- i) Utilizar gases de escape de máquinas térmicas en el presecado o en el secado, según conveniencias.

3. MÍNIMO SECADO POSIBLE

Se debe entender este punto en dos aspectos diferentes:

- a) Secar el mínimo posible en términos absolutos. Esto implica que no hay que reducir la humedad del producto por debajo del contenido en humedad de equilibrio con el ambiente en el que se va a dejar posteriormente, ya que recuperaría nuevamente parte de la humedad perdida.
- b) Secar el mínimo posible en secadero, lo cual implica que el producto debe secarse por otros medios antes de introducirlo en el secadero. Para ello se deben evitar humedecimientos previos de cualquier tipo, y en el caso de productos agrícolas, deben recolectarse los productos cuando están lo más secos posible.

2.3.6.4 Control Del Grado De Secado

Se debe estudiar la **curva de secado** del producto, para garantizar el futuro equilibrio entre la humedad del producto secado y la del ambiente donde será depositado.

2.3.6.5 Aislamiento De Secaderos

Necesario para minimizar pérdidas tanto en el hogar como a través de las paredes y del techo del secadero propiamente dicho.

NOTA: EL CAPITULO 2, HA SIDO EXTRAÍDO DE VARIAS FUENTES BIBLIOGRÁFICAS, TESIS DE GRADO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO Y PÁGINAS DE INTERNET QUE SE DETALLARAN EN LA BIBLIOGRAFÍA.

CAPITULO 3

DISEÑO

3.1 DISEÑO TÉRMICO

3.1.1 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

El requerimiento fundamental es alcanzar una temperatura y humedad deseada, la cual nos permita secar materia orgánica en diferentes condiciones ambientales, sin llegar a estropear el producto y así mantener el color, olor, sabor y textura de los productos secados.

Para esto se ha hecho la investigación de cuál sería la mejor opción entre diferentes sistemas de secados, concluyendo así en escoger el más eficiente energéticamente y con el secado menos agresivo así de esta manera se llego a determinar que un sistema de enfriamiento para secar el aire mas una bomba de calor seria el sistema optimo para satisfacer los requerimientos de diseño.

Ahora bien, se basa en un banco de pruebas de un sistema de bomba de calor por compresión de vapor, él cual dispone de un evaporador que enfriara y extraerá la humedad del aire que se utilizara para la trasferencia de calor sistema de secado.

El evaporador cuenta con el dispositivo de control de flujo de refrigerante, la válvula de expansión termostática junto a la instrumentación de filtro, mirilla, válvulas, sensores y controladores que harán que es sistema de bomba de calor trabaje de manera óptima y segura.

En el sistema de secado está determinado por un flujo de aire continuo desde el habitáculo frio al secador para así hacer uso del aire frio ávido de humedad el cual es conducido a un condensador o intercambiador de calor intercalado entre el compresor y el condensador del sistema de bomba de calor con el objetico de volver a calentar el aire frio y así obtener un aire caliente habido de humedad.

Y como requerimiento final instalar sensores de presión, temperatura y humedad tanto analógicos y digitales, para optimizar el funcionamiento y control del sistema de enfriamiento, bomba de calor y el sistema de secado para que estas variables de control lleguen a un dispositivo de adquisición de datos en donde podrán ser controladas, almacenadas y evaluadas para posteriores estudios en un computador.

3.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1.2.1 Requerimientos De La Unidad Condensadora

La unidad condensadora de marca L'UNITE HERMETIQUE y modelo CAJ9510Z MHR, ha sido provista por el laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M. la cual será utilizada y adaptada para generar la compresión y calor necesarios para el sistema de bomba de calor y secador respectivamente, en la figura 3.1 se puede observar las medidas y en la tabla 3.1 los datos técnicos de la misma.

MARCA: L'UNITE HERMETIQUE

MODEL: CAJ9510Z MHR

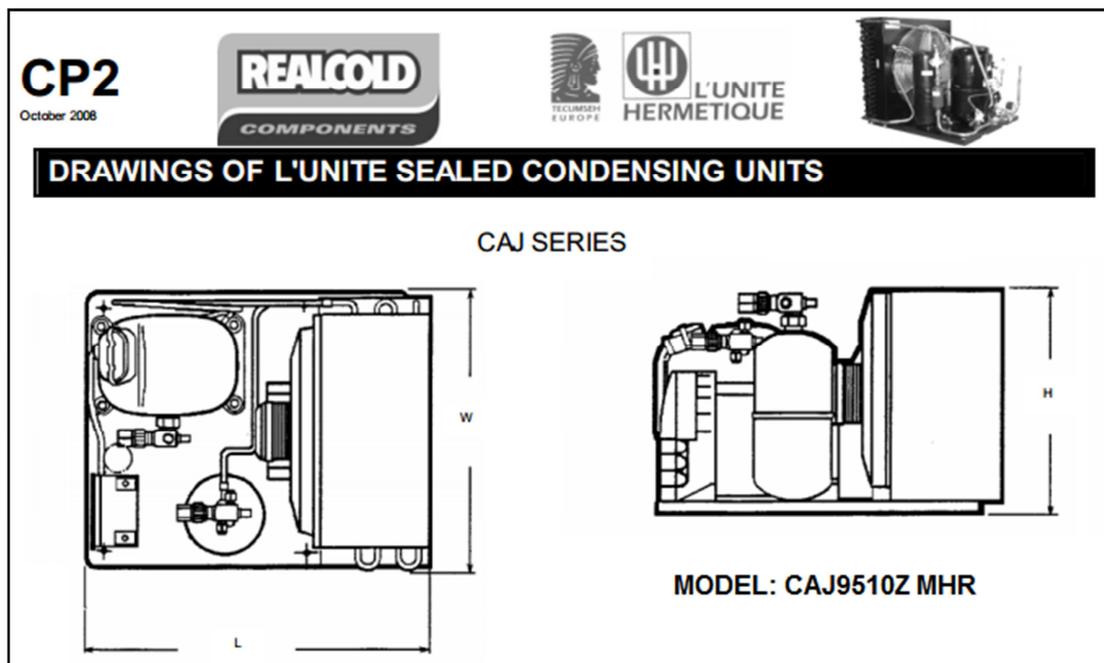


FIGURA 3.1: UNIDAD CONDENSADORA MODELO CAJ9510Z MHR

TABLA 3.1: ESPECIFICACIONES UNIDAD CONDENSADORA MODELO CAJ9510Z MHR

REALCOLD COMPONENTS		TECHNIQUE EUROPE		L'UNITE HERMETIQUE		CP3 October 2008				
L'UNITE SEALED CONDENSING UNITS										
R404A MEDIUM TEMPERATURE										
220/240 Volt 50 Hz Single Phase										
REALCOLD STOCK NO.	MODEL	NOM. HP	DISP. CM ³	WATTS CAPAC. -5°C	APP	DIMENSIONS				PRICE \$ excl GST
						L mm	W mm	H mm	KG	
C9407^	AEZ4425ZHR	1/5	4.50	338	HT	417	317	224	18.5	POA
C9408^	AEZ4430ZHR	1/4	5.70	468	HT	389	330	257	18.5	
C9412^	AEZ4440ZHR	1/3	7.55	624	HT	490	350	292	21	
C9426^	CAE4450ZHR	3/7	9.40	770	HT	490	350	292	22.5	
C9430^	CAE9460Z MHR	1/2	11.30	899	MHT	490	356	292	26	
C9432^	CAE9470Z MHR	1/2	13.30	1156	MHT	490	430	338	32	
C9442^	CAJ9480Z MHR	5/8	15.20	1308	MHT	480	430	338	40	
C9444^	CAJ9510Z MHR	1	18.30	1589	MHT	486	430	338	41	
C9446^	CAJ9513Z MHR	1 1/8	24.20	1911	MHT	486	430	338	41	
C9448	CAJ4517Z HR	1 1/4	25.95	2437	HT	620	510	450	48	
C9450	CAJ4519Z HR	1 1/2	34.45	3065	HT	620	510	450	48	
C9470	FH4524ZHR	2	43.50	3324	HT	620	510	450	64	
C9473	FHS4531Z HR	2 1/2	56.65	4473	HT	608	628	558	68	
400 Volt 50 Hz Three Phase										
C9471 *	TFH4524Z HR	2	43.50	3324	HT	620	510	450	56	POA
C9475 *	TFHS4531Z HR	2 1/2	56.65	4473	HT	608	628	558	70	
C9477 *	TFHS4540Z HR	3	74.25	5306	HT	608	628	558	75	
C9480*	TAG4553Z HR	4 1/2	100.70	7480	MHT	1080	650	565	115	
C9482 *	TAG4561Z HR	5	112.50	8336	HT	1080	650	565	122	

* Also suitable for R22

3.1.2.2 Requerimientos De La Unidad De Evaporadora

La unidad evaporadora de marca MIPAL y modelo LMSMB025E, ha sido provista por el laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M. la cual será utilizada y adaptada para generar el secado del aire que será calentado posteriormente en el secador, en la figura 3.2 se puede observar el evaporador y en la tabla 3.2 los datos técnicos de la misma.



FIGURA 3.2: UNIDAD EVAPORADORA MODELO LMSMB025E

**TABLA 3.2: ESPECIFICACIONES UNIDAD EVAPORADORA MODELO
LMSMB025E**

Serie Mi		Temperatura de evaporación										
DT1 = 10,8°F DT1 = 6°K		°F	-40	-31	-22	-13	-4	5	14	23	32	41
		°C	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5
W	HP											
013	1		1007	1100	1143	1180	1217	1252	1287	1326	1431	1493
015	1 ¼		1325	1379	1432	1479	1525	1569	1612	1662	1794	1871
018	1 ½		1508	1569	1631	1683	1736	1786	1836	1892	2042	2130
025	2		2113	2199	2285	2358	2432	2502	2572	2651	2861	2984
031	2 ½		2587	2692	2797	2888	2978	3064	3149	3246	3503	3654
038	3		3168	3297	3425	3536	3647	3751	3856	3975	4289	4474
046	4		3868	4025	4182	4317	4452	4580	4708	4852	5236	5462
051	5		4224	4396	4567	4715	4862	5002	5142	5300	5719	5965
062	5 ½		5171	5381	5591	5771	5952	6123	6294	6487	7001	7302
078	6 ½		6475	6737	7000	7226	7452	7666	7881	8123	8766	9143
094	7 ½		7740	8054	8368	8638	8909	9165	9421	9710	10479	10930
110	9		9050	9417	9784	10100	10416	10716	11015	11354	12252	12779
125	10		10370	10791	11212	11574	11936	12279	12622	13010	14039	14644

3.1.1.3 Requerimientos De La Unidad Secadora

La unidad secadora, ha sido diseñada con el propósito de utilizar la mayor cantidad de calor aportada por el aire que fluye y con la capacidad de evitar que humedad y calor entren en la misma, conjuntamente dispone de dos ventiladores que controlaran los parámetros de calibración de la misma basados en un controlador de humedad y temperatura.

Esta dispuesta con un aislamiento térmico de una pulgada de ancho de fibra de vidrio y en su interior tiene la distribución de cuatro bandejas para depositar la materia orgánica.

También se ha instalado cuatro paneles refractivos para conducir el aire entre las bandejas, como se puede ver en la figura 3.3



FIGURA 3.3: UNIDAD SECADORA PARA 500 GRAMOS DE MATERIA ORGÁNICA

3.1.3 CÁLCULOS SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CÁMARA DE CONGELACIÓN

La carga de enfriamiento en un equipo de refrigeración raras veces es el resultado de una sola fuente de calor. Más bien, es la suma de las cargas térmicas en las que están involucradas diferentes fuentes. Algunas de las fuentes de calor más comunes que suministran la carga de refrigeración del equipo son (Dossat, 1991).

3.1.3.1 Datos

Temperatura de enfriamiento:

$$T_{req} := -5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{req} = 268.15\text{-K}$$

Temperatura ambiente:

$$T_i := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 298.15\text{K}$$

Temperatura secador:

$$T_s := 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_s = 323.15\text{K}$$

Volumen de aire

Secador

$$V_{as} := 0.10881\text{m}^3$$

Habitáculo frio

$$V_{af} := 0.069\text{m}^3$$

3.1.3.2 Carga Por Aire Del Secador

Producto: aire caliente

$$T_{\text{inicials}} := 323.15\text{K}$$

$$T_{\text{inicials}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de aire secador:

$$T_{\text{finals}} := 268.15\text{K}$$

$$T_{\text{finals}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de aire frio:

$$T_{\text{ms}} := \frac{T_{\text{inicials}} + T_{\text{finals}}}{2}$$

$$T_{\text{ms}} = 295.65\text{K}$$

$$\Delta T_{\text{s}} := T_{\text{inicials}} - T_{\text{finals}}$$

$$\Delta T_{\text{s}} = 55\text{K}$$

DATOS DEL AIRE A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Cps del aire temperatura media:

$$C_{\text{pas}} := 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Densidad del aire temperatura media:

$$\delta_{\text{as}} := 1.194 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ma masa de aire:

$$m_{\text{as}} := \delta_{\text{as}} \cdot V_{\text{as}}$$

(3.1)

$$m_{\text{as}} = 0.13\text{kg}$$

PERDIDA POR PRODUCTO AIRE CALIENTE

Calor extraído del aire:

$$Q_{a1s} := \text{mas} \cdot C_{pas} \cdot \Delta T_s \quad (3.2)$$

$$Q_{a1s} = 7.196 \times 10^3 \text{ J}$$

Por hora:

$$Q_{as} := \frac{Q_{a1s}}{3600s}$$

$$Q_{as} = 1.999 \text{ W}$$

3.1.3.3 Carga Por Aire Del Habitáculo Frio

Producto: aire frio

$$T_{inicialf} := 298.15 \text{ K}$$

$$T_{inicialf} = 25 \text{ °C}$$

Temperatura inicial del aire:

$$T_{finalf} := 268.15 \text{ K}$$

$$T_{finalf} = -5 \text{ °C}$$

$$T_{mf} := \frac{T_{inicialf} + T_{finalf}}{2}$$

$$T_{mf} = 283.15 \text{ K}$$

$$\Delta T_f := T_{inicialf} - T_{finalf}$$

$$\Delta T_f = 30 \text{ K}$$

PROPIEDADES DEL AIRE A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Cps del aire temperatura media:

$$C_{paf} := 1006 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Densidad del aire temperatura media:

$$\delta_{af} := 1.247 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ma masa de aire:

$$m_{af} := \delta_{af} \cdot V_{af}$$

$$m_{af} = 0.086 \text{ kg}$$

PERDIDA POR PRODUCTO AIRE FRIO

Calor extraído del aire:

$$Q_{a1f} := m_{af} \cdot C_{paf} \cdot \Delta T_f \quad (3.3)$$

$$Q_{a1f} = 2.597 \times 10^3 \text{ J}$$

Por hora:

$$Q_{af} := \frac{Q_{a1f}}{3600\text{s}}$$

$$Q_{af} = 0.721 \text{ W}$$

3.1.3.4 Carga Por Estructura

Las paredes del habitáculo refrigerado están conformadas: el techo por madera y el resto por paneles de policarbonato, separadas mediante aire el cual actúa como aislante térmico.

Espesor plancha de interior de policarbonato:

$$e_1 := 0.42\text{mm}$$

$$e_1 = 4.2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Espesor plancha de exterior de policarbonato:

$$e_2 := 0.42\text{mm}$$

$$e_2 = 4.2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Espesor de madera techo:

$$e_t := 30\text{mm}$$

$$e_t = 0.03\text{m}$$

Espesor de la cámara de aire:

$$e_a := 9.16\text{mm}$$

$$e_a = 9.16 \times 10^{-3}\text{m}$$

DATOS CÁMARA FRÍA**Alto:**

$$a := 0.69\text{m}$$

Ancho:

$$h := 0.148\text{m}$$

Profundidad:

$$p := 0.68\text{m}$$

VARIABLES TÉRMICAS A TEMPERATURA AMBIENTE**Aire:**

$$K_a := 25.51 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Madera:

$$K_m := 0.13 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Policarbonato:

$$K_p := 0.22 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

1) Convección Forzada Interior Del Habitáculo Frio

Propiedades del aire a temperatura de -5 °C

$$T_{ai} := T_{req}$$

$$T_{ai} = 268.15 \text{ K}$$

$$T_{ai} = -5 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{ai} := 1.3165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu_{ai} := 12.95 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$K_{ai} := 23.26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$Pr_{ai} := 0.73745$$

Velocidad de aire:

$$v_{ai} := 5.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Número de Reynolds para el aire interno:

$$Re_{ai} := \frac{v_{ai} \cdot a}{\nu_{ai}} \tag{3.4}$$

$$Re_{ai} = 2.723 \times 10^5$$

Número de Nusselt:

Flujo turbulento

$$Re_{ai} \geq 10000$$

$$0.7 \leq Pr_{ai} \leq 160$$

Enfriamiento del fluido

$$n_i := 0.3$$

$$Nu_{ai} := 0.023 Re_{ai}^{0.8} Pr_{ai}^{n_i} \tag{3.5}$$

$$Nu_{ai} = 467.787$$

Cálculo del diámetro hidráulico:

$$D_{hi} := \frac{2 \cdot h \cdot a}{h + a} \quad (3.6)$$

$$D_{hi} = 0.244 \text{ m}$$

Cálculo del coeficiente de convección h_i :

$$h_i := \frac{Nu_{ai} \cdot K_{ai}}{D_{hi}} \quad (3.7)$$

$$h_i = 44.644 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

2) Convección Natural Del Habitáculo Frio

Propiedades del aire a temperatura de 25 °C

$$T_{ao} := T_i$$

$$T_i = 25 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{ao} = 298.15 \text{ K}$$

$$\rho_{ao} := 1.184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu_{ao} := 15.61 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$K_{ao} := 25.51 \cdot 10^{-3} \frac{W}{\text{m} \cdot K}$$

$$Pr_{ao} := 0.7296$$

Densidad y temperatura policarbonato:

$$\rho_p := 1200 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$-100 < \rho_p < 120$$

$$T_p := T_{req}$$

$$T_{req} = -5 \cdot ^\circ\text{C}$$

Densidad y temperatura aire ambiental:

$$\rho_{ao} = 1.184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{ao} = 298.15 \text{ K}$$

$$T_i = 25 \cdot ^\circ\text{C}$$

Coefficiente de expansión volumétrica:

$$\beta := \frac{-1}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\rho_{ao} - \rho_p}{T_{ao} - T_p} \right) \quad (3.8)$$

$$\beta = 0.033 \frac{1}{\text{K}}$$

Número de Grashof:

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Longitud característica

$$L_c := (3 \cdot h) + (2 \cdot p) \quad (3.9)$$

$$L_c = 1.804 \text{ m}$$

$$\text{Gr1} := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_p - T_{ao}) L_c^3}{\nu_{ao}^2} \quad (3.10)$$

$$\text{Gr1} = -2.36 \times 10^{11}$$

Signo indica la dirección de la fuerza de empuje.

$$\text{Gr} := -\text{Gr1}$$

Número de Nusselt placa isotérmica flujo turbulento:

$$D := \text{Gr} \cdot \text{Pr}_{ao}$$

Flujo turbulento

$$D > 10^9$$

$$D = 1.722 \times 10^{11}$$

$$\begin{aligned} \text{Nuo} &:= 0.0210 \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr} \cdot \text{Pr} \cdot \text{Pr})^{\frac{2}{5}} \\ \text{Nuo} &= 655.619 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Calculo del coeficiente de convección ho:

$$h_o := \frac{\text{Nuo} \cdot K_{\text{air}}}{L_c} \quad (3.12)$$

$$h_o = 9.271 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Coeficiente global de transferencia de calor:

$$U_1 := \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{K_p} + \frac{e_a}{K_a} + \frac{e_2}{K_p} + \frac{1}{h_o}} \quad (3.13)$$

$$U_1 = 7.438 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

En total son 5 paredes de policarbonato y el techo de madera.

PERDIDA DE CALOR POR LAS PAREDES DE POLICARBONATO

Área de contacto:

$$A_c := 2(p \cdot a) + 2(a \cdot h) + (p \cdot h) \quad (3.14)$$

$$A_c = 1.243 \text{m}^2$$

Temperatura interior:

$$T_o := T_{\text{req}}$$

$$T_o = 268.15 \text{K}$$

Temperatura exterior:

$$T_i = 298.15 \text{K}$$

Perdida de calor en las paredes policarbonato:

$$Q_p := U_1 \cdot A_c \cdot (T_i - T_o) \quad (3.15)$$

$$Q_p = 277.435 \text{W}$$

PERDIDA DE CALOR EN EL TECHO DE MADERA

$$e_t = 0.03 \text{ m}$$

$$K_m = 0.13 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$U_2 := \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_t}{K_m} + \frac{1}{h_o}} \quad (3.16)$$

$$U_2 = 2.77 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Q_t := U_2 \cdot a^2 \cdot (T_i - T_o) \quad (3.17)$$

$$Q_t = 39.562 \text{ W}$$

Perdida de calor total por estructura

$$Q_c := Q_p + Q_t \quad (3.18)$$

$$Q_c = 316.996 \text{ W}$$

3.1.3.5 Carga Por Equipo

Extractor de aire:

$$P_e := 70 \text{ W}$$

$$P_e = 0.094 \cdot \text{hp}$$

Ventiladores del evaporador:

$$P_v := 140 \text{ W}$$

$$P_v = 0.188 \cdot \text{hp}$$

Potencia total por equipo:

$$P_T := P_e + P_v \quad (3.19)$$

$$P_T = 0.282 \cdot \text{hp}$$

Para el cálculo de la pérdida por equipo de la tabla 10-14 de libro de Roy J. Dossat (principios de refrigeración) tenemos:

$$F3 := 4.250 \cdot \frac{\text{BTU}}{\text{hp} \cdot \text{hr}}$$

Potencia Motor:

$$\frac{1}{8} < \text{HP} < \frac{1}{2} \quad (3.20)$$

$$Qe1 := F3 \cdot \text{PT} \cdot 24 \cdot \text{hr}$$

$$Qe1 = 3.031 \times 10^4 \text{ J}$$

$$Qe := \frac{Qe1}{3600 \text{ s}}$$

$$Qe = 8.418 \text{ W}$$

3.1.3.6 Carga Total Sistema De Enfriamiento

$$QT := Qas + Qaf + Qc + Qe \quad (3.21)$$

$$QT = 328.135 \text{ W}$$

3.1.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Temperatura ambiente

$$Ta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Ta := 298.15 \text{ K}$$

Temperatura de condensación:

$$Tc = Ta + 10$$

$$Tc := 308.15 \text{ K}$$

Temperatura del habitáculo frío:

$$Th = -5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Th := 268.15 \text{ K}$$

Temperatura de evaporación:

$$T_e = T_h - 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_e := 258.15\text{K}$$

Presión de condensación:

$$P_{\text{cond}} := 232.205\text{psi}$$

Presión de evaporación:

$$P_{\text{evap}} := 52.504\text{psi}$$

TEMPERATURA:	ENTALPIAS:	VOLUMEN ESPECIFICO:
$T_1 := -5 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_1 := 363280 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$v_1 := 0.038617 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
$T_2 := 50 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_2 := 381010 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	
$T_3 := 35 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_3 := 379450 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$v_3 := 0.011418 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
$T_4 := 35 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_4 := 251970 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	
$T_5 := 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_5 := 244030 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	
$T_6 := -15 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_6 := 244030 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	
$T_7 := -15 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_7 := 251970 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	
$T_8 := -15 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_8 := 357940 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	

3.1.4.1 Potencia Frigorífica

$$Q_f := Q_T$$

$$Q_f = 328.135\text{W}$$

$$Q_{f1} := \frac{Q_f}{12000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}$$

$$Q_{f1} = 0.093$$

$$Q_{f1} = 0.318 \frac{1}{W} \cdot \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{f1} = 0.093 \text{ TR}$$

3.1.4.2 Caudal Másico Total De Refrigerante

Evaporador unidad de enfriamiento:

$$m_r := \frac{Q_T}{(h_8 - h_6)} \quad (3.22)$$

$$m_r = 10.37 \cdot \frac{kg}{hr}$$

3.1.4.3 Calor Evacuado En El Secador

$$Q_s := m_r \cdot (h_2 - h_3) \quad (3.23)$$

$$Q_s = 4.494 \text{ W}$$

3.1.4.4 Calor Evacuado En El Condensador

$$Q_c := m_r \cdot (h_3 - h_4) \quad (3.24)$$

$$Q_c = 367.225 \text{ W}$$

3.1.4.5 Caudal Volumétrico Total De Refrigerante Compresor

$$V_c := m_r \cdot v_1 \quad (3.25)$$

$$V_c = 0.4 \cdot \frac{m^3}{hr}$$

3.1.4.6 Razón De Compresión

$$RC := \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \quad (3.26)$$

$$RC = 4.423$$

3.1.4.7 Potencia Del Compresor

Rendimiento mecánico:

$$\eta_m := 0.80$$

Rendimiento volumétrico:

$$\eta_v := -0.0285 \cdot RC + 0.89 \quad (3.27)$$

$$\eta_v = 0.764$$

Rendimiento total:

$$\eta_T := \eta_m \cdot \eta_v \quad (3.28)$$

$$\eta_T = 0.611$$

Potencia del compresor:

$$P_c := m_r \cdot \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_T} \quad (3.29)$$

$$P_c = 0.112 \cdot hp$$

3.1.4.8 Caudal Volumétrico De Refrigerante En La Válvula De Expansión

Unidad de congelamiento:

$$V_1 := m_r \cdot v_3 \quad (3.30)$$

$$V_1 = 0.118 \cdot \frac{m^3}{hr}$$

3.1.4.9 Factor De Performance Del Sistema De Enfriamiento

$$FOP := \frac{P_c}{Q_f} \quad (3.31)$$

$$FOP = 0.255 \quad 2 < FOP < 6$$

3.1.4.10 Coeficiente De Performance Del Sistema De Enfriamiento

$$\text{COP} := \frac{Q_f}{P_c} \quad (3.32)$$

$$\text{COP} = 3.927 \quad 1 < \text{COP} < 5$$

3.1.5 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁSIICO EN EL SECADOR

REFRIGERANTE:		AIRE:	
TEMPERATURA:	ENTALPIAS:	TEMPERATURA:	ENTALPIAS:
$T_2 = 50^\circ\text{C}$	$h_2 = 3.81 \times 10^5 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$T_{a1} = -5^\circ\text{C}$	$h_{a1} := 268256 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
$T_3 = 35^\circ\text{C}$	$h_3 = 3.795 \times 10^5 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$T_{a2} = 50^\circ\text{C}$	$h_{a2} := 323453 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

3.1.5.1 Masa De Refrigerante

$$m_r = 10.37 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

3.1.5.2 Calor En El Sistema De Enfriamiento = Calor Del Secador

BALANCE DE ENERGÍA

$$E \text{ entra} - E \text{ sale} + E \text{ generada} = E \text{ almacenada}$$

$$E \text{ entra} = E \text{ sale}$$

$$Q_s = Q_{es}$$

$$Q_s = m_1 \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{es} = m_a \cdot (h_{a2} - h_{a1})$$

$$m_1 \cdot (h_2 - h_3) = m_a \cdot (h_{a2} - h_{a1}) \quad (3.33)$$

3.1.5.3 Caudal Másico De Aire En El Secador

$$m_a := \frac{m_r \cdot (h_2 - h_3)}{(h_{a2} - h_{a1})} \quad (3.34)$$

$$m_a = 0.293 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

3.1.6 EFICIENCIA DEL SECADOR

$$E = \frac{\text{Calor utilizado en el secado}}{\text{Calor utilizado en el secado} + \text{Calor perdido en el aire a la salida}} \quad (3.35)$$

3.1.6.1 Calor Perdido A La Salida Del Secador

Caudal másico de aire en el secador:

$$m_a = 0.293 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Temperatura dentro del secador:

$$T_{a2} := 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura ambiental:

$$T_a = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calor perdido:

$$T_m := \frac{T_{a2} + T_a}{2}$$

$$T_m = 37.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cp. Del aire temperatura media:

$$C_p := 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$Q_p := m_a \cdot C_p \cdot (T_{a2} - T_a) \quad (3.36)$$

$$Q_p = 2.043 \text{ W}$$

3.1.6.2 Eficiencia

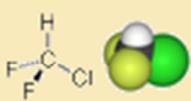
$$E := \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \quad (3.37)$$

$$E = 0.687$$

3.2 PROPIEDADES REFRIGERANTE R-404A

El R-404A (HFC-404 A) es un compuesto inocuo para la capa de ozono desarrollado para ser una alternativa a largo plazo a los refrigerantes R-502 (CFC-502) y R-22 (HCFC-22) en aplicaciones de refrigeración comercial de temperatura media y baja.

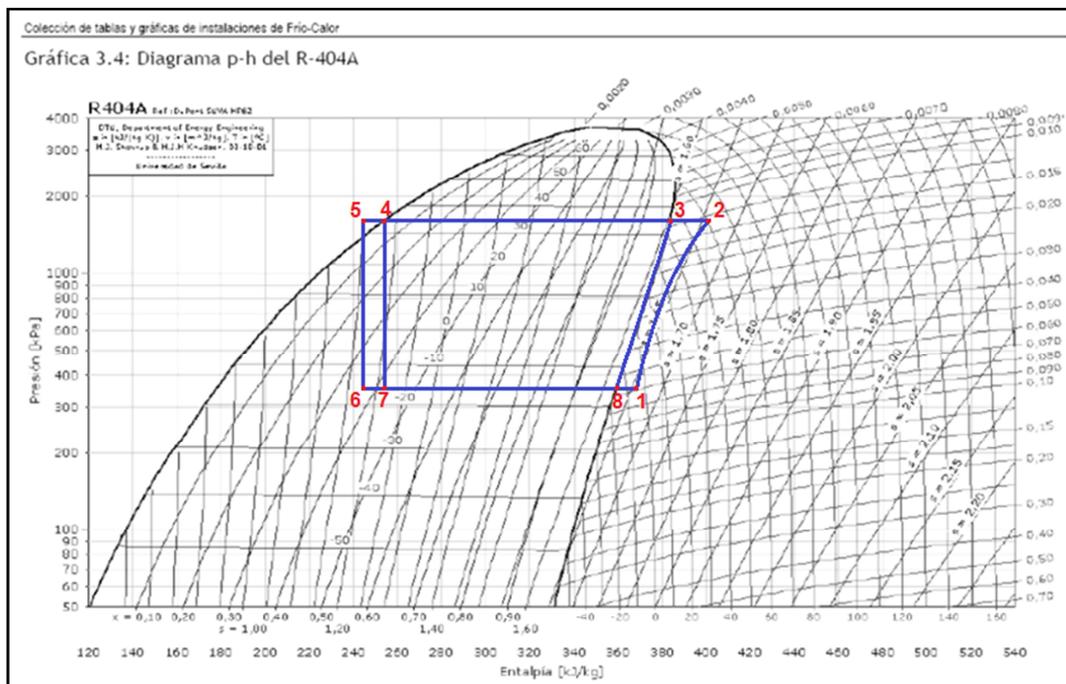
TABLA 3.3: PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R-404A

Pentafluoretano(R-125)(44%), Tetrafluoretano(R-134a)(4%), Trifluoretano(R143a)(52%)	
	
Nombre taxonómico	Pentafluoretano(R-125)(44%), Tetrafluoretano(R-134a)(4%), Trifluoretano(R143a)(52%)
Otros nombres	R404A
Fórmula molecular	CHF ₂ CF ₃ (44%)+CH ₂ FCF ₃ (4%) +CH ₃ CF ₃ (52%) ₂
SMILES	?
Masa Molar	97'6
Apariencia	Gas incoloro
N° CAS	CAS=44/4/52
Propiedades	
Densidad y fase	1'04 del líquido a 25c° 5'04 del vapor saturado
Solubilidad en agua	?
Punto de fusión	-175,42 °C (97,73 K)
Punto de ebullición	-46'79
Peligros	
[[Hoja de datos de seguridad MSDS	External MSDS]]
Principal [[Salud y seguridad en el trabajo Peligros	Sistema nervioso central depresivo
NFPA 704	Salud = 1 Reactividad = 1
Riesgos y seguridad R/S	a altas concentraciones riesgos soporíferos y disminución de la capacidad de oxígeno

3.3 CICLO TERMODINÁMICO REFRIGERANTE R-404A

De acuerdo al diseño termodinámico y a las necesidades del proyecto se obtuvieron las siguientes temperaturas y entalpías respectivas:

TEMPERATURA:	ENTALPIAS:
T1 := -5 °C	h1 := 363280 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T2 := 50 °C	h2 := 381010 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T3 := 35 °C	h3 := 379450 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T4 := 35 °C	h4 := 251970 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T5 := 30 °C	h5 := 244030 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T6 := -15 °C	h6 := 244030 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T7 := -15 °C	h7 := 251970 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
T8 := -15 °C	h8 := 357940 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$



GRAFICA 3.1: CICLO TERMODINÁMICO REFRIGERANTE R-404^a

El ciclo termodinámico de encuentra en el ANEXO A y se puede ver detalladamente cada uno de los puntos de control del mismo.

3.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

3.4.1 CONDICIONES DE DISEÑO

La condición más predominante y necesaria es que el aire obtenido en el habitáculo frío sea habido de humedad y absorba el calor en el condensador del secador para que cumpla su propósito, ahora bien el sistema debe ser cerrado tanto el de circulación de refrigerante como el de circulación de aire en el secador para que estos no pierdan propiedades y se mantengan en las condiciones deseadas.

El habitáculo frío y el secador deben estar provistos del respectivo aislante térmico necesario en cada caso, para reducir al máximo las pérdidas y así los sistemas se mantienen lo más eficientemente posible.

3.4.2. ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO Y SECADOR

En la figura 3.4 se puede apreciar la dirección la dirección de flujo tanto del aire utilizado para secar como la dirección del flujo de refrigerante y los diferentes componentes principales de cada uno de los sistemas.

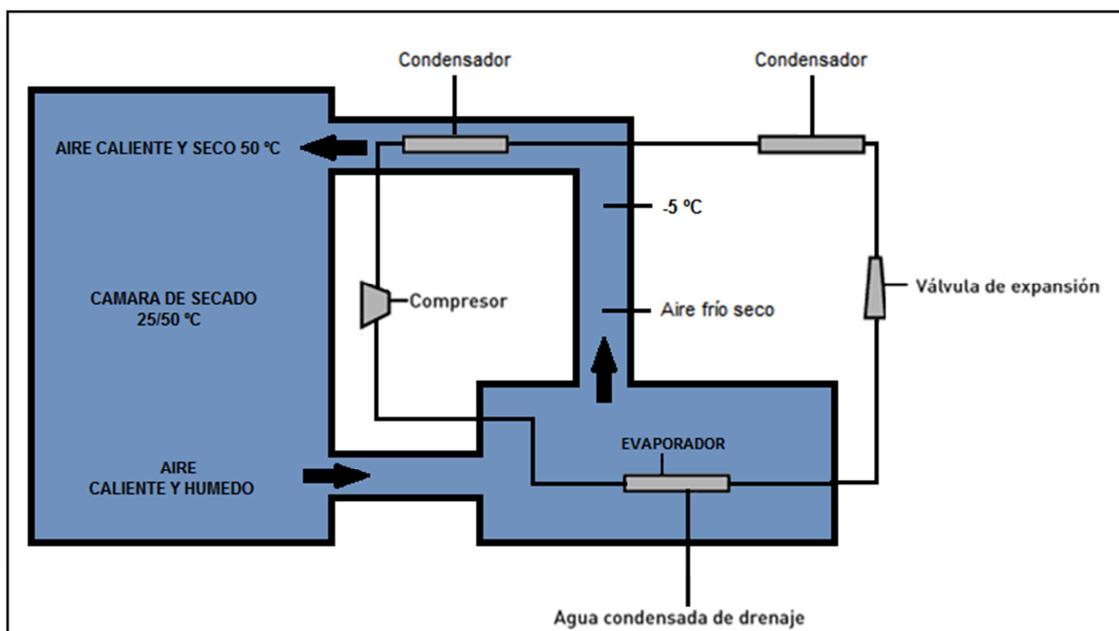


FIGURA 3.4: ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO Y SECADOR

El fin de este esquema es explicar cómo los fluidos de aire y refrigerante circulan a través de los sistemas de bomba de calor y secador, cabe recalcar el éxito del proceso está en que los sistemas son completamente cerrados pero interactúan entre sí, entonces la ventaja que nos da sobre otros secadores está dada por el aire que fluye por el evaporador, que al bajar su temperatura extrae su humedad, congelándola en el evaporador y finalmente desechándola al exterior del habitáculo frío, este aire ávido de humedad es direccionado al condensador del secador volviéndolo a calentar y que este pase caliente por el producto dentro de la cámara de secado, fenómeno que hará mucho más fácil su extracción debido a un aire ávido de humedad y al calor ganado en el condensador.

El paso de este aire bajo en su contenido de humedad y caliente genera un secado lento que no es agresivo para el producto dentro del secador manteniendo así la mayor cantidad de sus propiedades físico químicas.

En la figura 3.5 se puede ver el ingreso de aire frío siendo direccionado para que pase por el condensador por un ventilador para generar convección forzada.



FIGURA 3.5: ENTRADA DE AIRE AL SECADOR

3.4.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.4.3.1 Unidad Condensadora

Características técnicas de la Unidad Condensadora. En base a la tabla 3.1 se selecciona la unidad condensadora.

Marca	L' UNITE HERMETIQUE
Modelo	CAJ9510Z MHR
Refrigerante	R404A
Potencia del compresor	1 HP
FOP	3 HP/TR
T _{SUCCIÓN}	5 °C
T _{CONDENSACIÓN}	35°C

Dimensiones unidad condensadora.

Altura	0.338 m
Ancho	0.430 m
Largo	0.486 m

3.4.3.2 Unidad Evaporadora

Características técnicas de la Unidad Evaporadora. En base a la tabla 3.2 se selecciona la unidad evaporadora.

Marca	MILAP
Modelo	LMSMB025E
Capacidad	1326 Watts (@ -5 °C)
Ventiladores	2 c/u 70 Watts
Material de la cañería	Aluminio
Refrigerante	R404A
Diámetro del cañería	½ pulg.

Dimensiones del evaporador.

Largo	1.067 m
Ancho	0.335 m
Altura	0.318 m

3.4.3.3 Dispositivos De Control De Flujo De Refrigerante

1. VÁLVULA DE EXPANSIÓN

Para la válvula de expansión se escogió un orificio de expansión de 0.5 toneladas de refrigeración por que para el banco de pruebas es la mínima medida que existe en el mercado y pese a estar sobredimensionada está dando buenos resultados por el ingreso continuo de calor al habitáculo frío, en la figura 3.6 se puede observar la válvula y su trampa de aceite para que arrastre continuamente el aceite circulante por él sistema.



FIGURA 3.6: VÁLVULA DE EXPANSIÓN Y TRAMPA DE ACEITE

2. VÁLVULA DE SERVICIO

Esta válvula está instalada para poder acumular el refrigerante en el receptor y así poder realizar el mantenimiento del sistema de refrigeración sin perder refrigerante.



FIGURA 3.7: VÁLVULA DE SERVICIO

3. VÁLVULA SOLENOIDE

La válvula solenoide es una electroválvula que está instalada para cortar el flujo de refrigerante y así bajar la presión del sistema en la línea de succión para que el controlador de presión de la succión apague el compresor y se pueda apagar finalmente el banco de pruebas, la finalidad de esta válvula es que la presión de descarga no se iguale con la presión de succión y el equipo pueda arrancar, si estas están iguales el rango de presión del presostato no permitirá que el banco de pruebas vuelva a encender.

Marca:	DANFOSS
Diámetro de tubería:	3/8"
Evaporadores de Capacidad	1.5 TR



FIGURA 3.8: VÁLVULA SOLENOIDE

4. VÁLVULAS DE SERVICIO EN LA UNIDAD CONDENSADORA

Estas válvulas están instaladas a la entrada del compresor y al receptor como se puede apreciar en la figura 3.9 y su función es corte del flujo del refrigerante para mantenimiento y carga del sistema de bomba de calor.



FIGURA 3.9: VÁLVULAS DE SERVICIO EN LA UNIDAD CONDENSADORA

3.4.3.4 Accesorios

1. FILTRO

El filtro contiene material desecante y material filtrante los cuales nos permitirán remover la humedad y otros contaminantes del sistema de bomba de calor, manteniendo la calidad del refrigerante, para la selección del filtro es necesario definir el tipo de refrigerante y el diámetro de la tubería.

Marca:	DANFOSS
Modelo:	DML versión abocardado
Diámetro de tubería:	3/8"
Presión	610 psi / 42 bar



FIGURA 3.10: FILTRO

2. MIRILLA O VISOR DE LÍQUIDO

Este dispositivo sirve y se lo instalo para observar la calidad y el estado en el que se encuentra el refrigerante a la salida del filtro en la línea de descarga, diámetro de tubería 3/8".



FIGURA 3.11: MIRILLA O VISOR DE LÍQUIDO

3. VENTILADORES

El banco de pruebas dispone de 5 ventiladores que sirven para forzar el aire en la unidad condensadora en la unidad evaporadora y en el secador, estos están dispuestos de la siguiente manera:

Unidad Condensadora	1 ventilador de 70 W
Unidad Evaporadora	2 ventiladores de 70 W
Secador	2 ventiladores de 70 W

3.4.3.5 Condensador En Secador

Este condensador fue elegido con el criterio de que en el sistema de comba de calor se utilizara como producto aire y no va a tener otra carga para que el aire secador en el habitáculo frio no gane humedad y como es un condensador que no está diseñado para evacuar el calor de un compresor de 1 hp, este condensador sufre un recalentamiento que nos favorece para nuestro propósito de calentar aire seco extraído del habitáculo frio, ahora bien teniendo en cuenta estos criterios de escogió un condensador para evacuar el calor de un compresor de ½ hp y cómo se puede ver en la tabla 3.4 este condensador a una tempera evaporación -10 °C logra evacuar 711 W y el banco de tempera necesita evacuar 328.135 W a una temperatura de -15 °C, entonces este condensador está en la capacidad de evacuar este calor.

TABLA 3.4: DATOS TÉCNICOS UNIDADES CONDENSADORES

MODELOS	cm²	Exp.	H.P	Refr. Comp.	Motor	TEMPERATURAS DE EVAPORACIÓN				PRECIO	CÓDIGO
						-10°C	-5°C	0°C	+7,2°C		
						w	w	w	w		
AEZ4425Z	4,5	C-V	1/5	F	CSIR	263	341	432	587	 	CT27053
THB4428Z	5,2	C-V		F	CSIR	311	394	493	677		CT29004
AEZ4430Z	5,7	C-V	1/4	F	CSIR	346	441	550	741		CT27054
AEZ4440Z	7,55	C-V	1/3	F	CSIR	462	590	743	1004		CT27055
AEZ9440Z (*)	7,55	C-V	1/3	F RH	CSR	462	590	743	1004		CT27056
CAE4450Z	9,4	C-V	3/8	F	CSIR	567	731	927	1270		CT27057
CAE9450Z	9,4	C-V	3/8	F	CSR	567	731	927	1270		CT27058
CAE9460Z	11,3	C-V	1/2	F	CSR	711	908	1141	1545		CT27059
CAE9470Z	13,3	C-V	1/2	F	CSR	869	1109	1392	1878		CT27060
CAJ9480Z	15,2	C-V	5/8	F	CSR	1009	1284	1607	2172		CT27061
CAJ9510Z	18,3	C-V	1	F	CSR	1252	1583	1972	2650		CT27062
CAJ9513Z	24,2	C-V	1	F	CSR	1501	1955	2485	3406		CT27063
CAJ4517Z	25,95	C-V	1 1/4	F	CSR	1776	2273	2857	3860		CT27064
CAJ4519Z	34,45	C-V	1 1/2	F	CSR	2353	3009	3756	5030		CT27065
FH4522Z	39,95	C-V	1 3/4	F	CSR	2240	3038	3947	5475		CT27066
FH4524Z	43,5	C-V	2	F	CSR	2570	3407	4361	5977		CT27067
FH4531Z	56,65	C-V	2 1/2	F	CSR	3300	4419	5706	7782	CT27068	
FH4540Z	74,25	C-V	3	F		4475	5771	7276	9814	CT27069	



FIGURA 3.12: CONDENSADOR EN SECADOR

3.4.3.6 Instrumentos

1. MANÓMETRO DE ALTA

Este manómetro se instaló para tener una referencia y un dato comparativo de la presión en la línea de descarga.

Manómetro de alta presión.

Marca:	QUALITY
Rango:	0 a 500 psig
Diámetro de tubería:	3/8"



FIGURA 3.13: MANÓMETRO DE ALTA

2. MANÓMETRO DE BAJA

Este manómetro se instaló para tener una referencia y un dato comparativo de la presión en la línea de succión.

Manómetro de baja presión.

Marca:	YELLOW JACKET
Rango:	0 a 120 psig
Diámetro de tubería:	3/8"



FIGURA 3.14: MANÓMETRO DE BAJA

3. PRESOSTATO DE ALTA Y DE BAJA

Este dispositivo que se instala como último control de presión tanto de la línea de descarga o de la línea de succión para evitar una subida extrema de presión o bajada de presión respectivamente en el sistema por un mal manipuleo de las presiones en los presostatos digitales.

Marca:	DANFOSS
Modelo:	KP 15
Rango de presiones alta:	8 →32 bar
Rango de presiones baja:	-0.2→7.5 bar



FIGURA 3.15: PRESOSTATO DE ALTA Y DE BAJA

3.4.3.7 Dimensionamiento De Cañerías

1. LÍNEA DE ALTA PRESIÓN

El diámetro de la tubería de la línea de alta o de la línea de descarga está dado por la válvula de servicio del receptor de la unidad condensadora que es de 3/8" hasta la válvula de expansión.

2. LÍNEA DE BAJA PRESIÓN

El diámetro de la tubería de la línea de baja o de la línea de succión está dado por la válvula de expansión a la salida que es de 1/2" hasta la entrada del evaporador y la salida del mismo es de 5/8" hasta la válvula de servicio de la entrada del compresor.

3.4.4 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

3.4.4.1 Selección De Transductor De Presión, Termocuplas Y Sensor De Humedad.

1. SENSORES DE PRESIÓN

Se instalo un sensor de presión en la línea de alta y en la línea de baja para controlar el sistema de bomba de calor y estos den la señal para que el controlador apague el compresor.

Marca:	Full Gauge
SB69-100A (sensor de baja)	0-100 psi
SB69-500A (sensor de alta)	0-500 psi
Temperatura de operación	-40 hasta 100 °C

2. TERMOCUPLAS

Para el banco de temperatura se ha instalado 6 termocuplas distribuidas de la siguiente forma:

Marca:	Full Gauge
Entrada del evaporador	0 hasta 50 °C
Salida del evaporador	-50 hasta 105.0 °C
Habitáculo frio	0 hasta 50 °C
Entrada del condensador en el secador	-50 hasta 105.0 °C
Salida del condensador en el secador	-50 hasta 105.0 °C
Habitáculo del secador	-10 hasta 70.0 °C

3. SENSOR DE HUMEDAD

En el secador se instalo un sensor de humedad que es que da la señal para que el controlador encienda y apague los ventiladores instalados en el secador para estabilizar la humedad.

Marca:	Full Gauge
Modelo:	MT-530Ri
Rango:	0 hasta 100 %

3.4.4.2 Selección De Instrumentos De Control

1. CONTROL DE PRESIÓN DE LA LÍNEA DE SUCCIÓN Y DESCARGA

El PCT-400Ri plus de marca Full Gauge es el que censa y controla la presión y han sido instalados dos uno para la línea de succión y otro para la línea de descarga y sobrepasa los puntos de control desconecta el compresor y tiene salida de datos al computador y su manual de usuario esta en el ANEXO I.



FIGURA 3.16: PCT-400RI plus

2. TERMOSTATO DEL HABITÁCULO FRIO

El TC-940Ri plus de marca Full Gauge es el que censa y controla la temperatura en la entrada al evaporador y sobrepasa los puntos de control desconecta el compresor y tiene salida de datos al computador y su manual de usuario esta en el ANEXO J.



FIGURA 3.17: TC-940RI plus

3. TERMÓMETRO

El TI-33Ri plus de marca Full Gauge es el que censa la temperatura en:

- t1: salida del evaporador.
- t2: entrada del condensador del secador.
- t3: salida del condensador del secador.

Y su manual de usuario esta en el ANEXO K.



FIGURA 3.18: TI-33Ri plus

4. CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL SECADOR

El MT-530Ri super de marca Full Gauge es el que censa y controla la temperatura junto con la humedad en el secador, prendiendo y apagando los ventiladores instalados en el interior del secador y en la tubería de retorno de aire al habitáculo frio y tiene salida de datos al computador y su manual de usuario esta en el ANEXO L.



FIGURA 3.19: MT-530Ri super

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN

Terminada la etapa de diseño, dimensionamiento de espacios y selección de equipos, con los datos obtenidos del diseño se procederá a construir el banco de pruebas con la finalidad que cumpla con las expectativas de una bomba de calor con aplicación de un secador para materia orgánica.

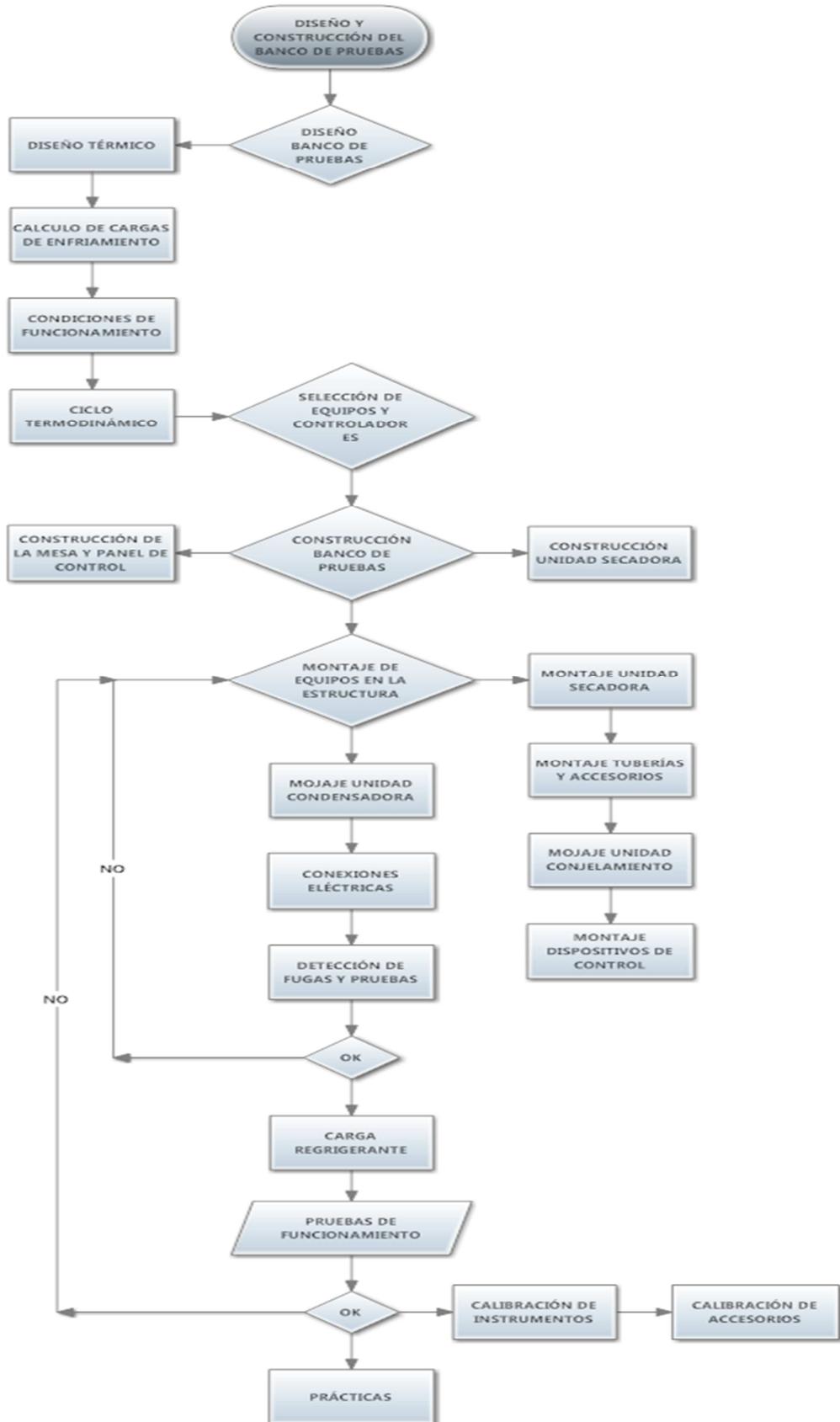
4.2 BANCO DE PRUEBAS TERMINADO

Finalmente después de la etapa de diseño se ha construido un banco de pruebas para simular una bomba de calor que será usada para un secador de grano, a continuación se detalla la construcción sus partes.



FIGURA 4.1: BANCO DE PRUEBAS

4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE



4.4 ESTRUCTURA METÁLICA Y TABLERO DE MONTAJE

Una vez que se ha determinado las dimensiones de del panel de control e instrumentación junto con la mesa donde van estar soportados las diferentes unidades y sus equipos, componentes y accesorios del banco de pruebas se procede armar y a realizar las diferentes instalaciones correspondientes a los siguientes montajes como se puede apreciar en las siguientes figura 4.2.



FIGURA 4.2: MESA Y PANEL DE CONTROL

4.5 CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD SECADORA

El secador se construyo tomando en cuenta de que este no pierda calor dejando una pared de fibra de vidrio entre las paredes del secador y sea fácil de usar, ahora bien dentro de él se instalo un grupo de bandejas metálicas para depositar la materia orgánica a secarse y paneles difusores para evitar que el aire fluya de manera linear.

El ingreso de aire, dispositivo de control del flujo de masa, ventilador y el condensador del secador fueron instalados por la parte inferior y la salida de aire y sensor de temperatura y humedad por la parte superior del secador, finalmente a la salida de la tubería de 4" de la salida del aire está instalado un segundo ventilador, como se puede ver en las siguiente figuras 4.3.

El control de flujo de masa es el dispositivo que es él que se regula el área transversal de la succión del aire al secador, cuando esta área se reduce hay

menos caudal másico y pasa menos aire por el condensador del secador lo que hace que se caliente más y la temperatura aumente en la cámara del secador.



FIGURA 4.3: CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR

En secador tiene un intercambio continuo de aire con el habitáculo frío controlado por los ventiladores que se prenden o se apagan según los parámetros de humedad ingresados en el controlador MT-530.

4.6 MONTAJE DE EQUIPOS, ACCESORIOS, INSTRUMENTOS Y ELEMENTOS DE CONTROL ELÉCTRICO

Una vez terminada la estructura, mesa y secador se procedió a montar e instalar cada uno de los componentes seleccionados en el capítulo 3, así también la concesión de tuberías.

El panel de control está dispuesto a tener todos los equipos, accesorios, instrumentos y elementos de control eléctrico y manipuleo para que el usuario pueda interactuar cómodamente y controlar la presión, temperatura y humedad necesarias para cada proceso de secado, con la ventaja de tener una salida digital al computador que permite el control digital de los parámetros y la adquisición de datos y como la facilidad de realizar graficas de las variables medidas y controladas en función del tiempo como se puede apreciar en las siguientes figuras.



FIGURAS 4.4: MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO DE PRUEBA

4.7 ESQUEMA UNIFILAR DEL BANCO DE PRUEBAS

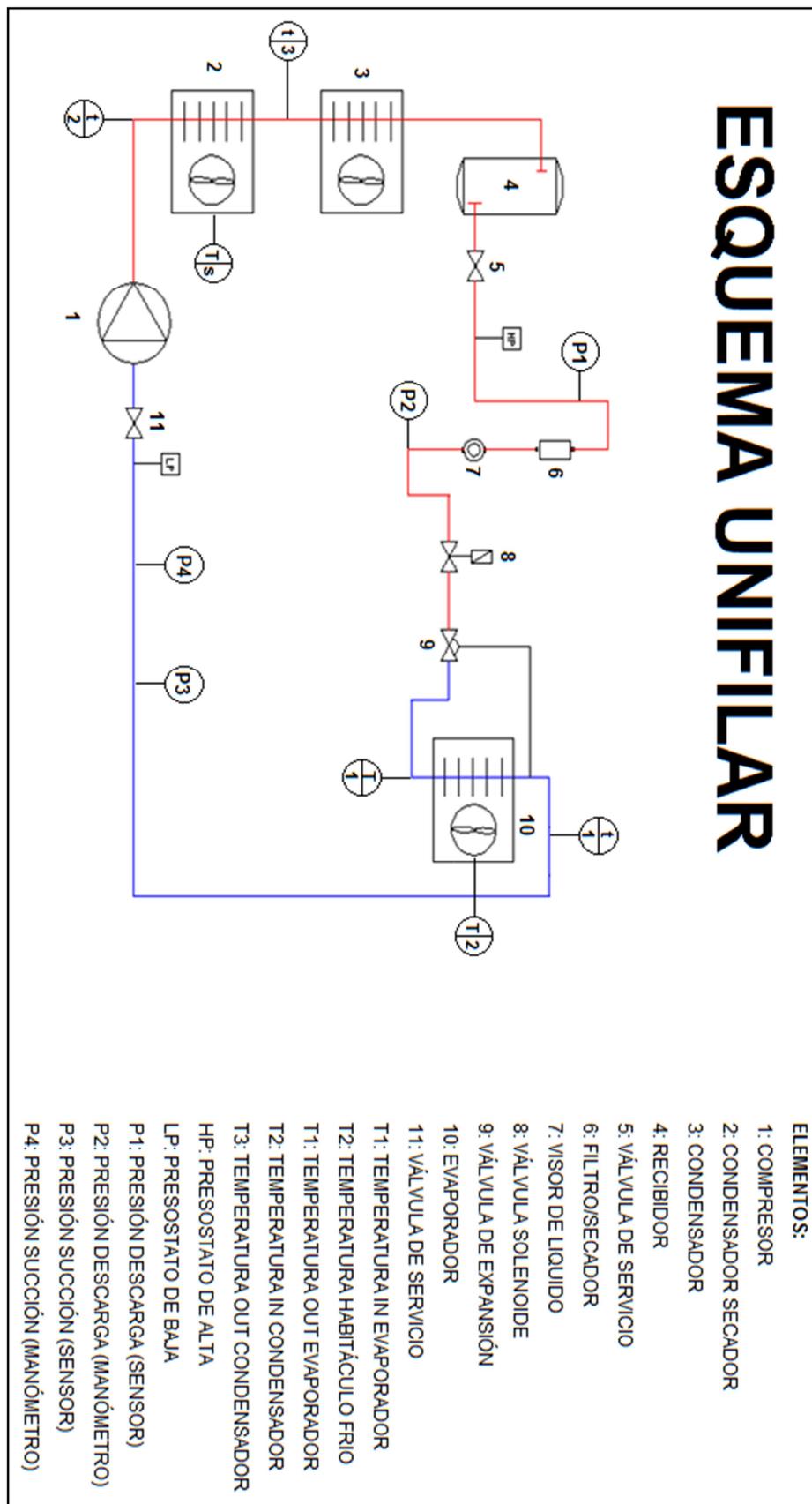


FIGURA 4.5: ESQUEMA UNIFILAR DEL BANCO DE PRUEBAS

4.8 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONEXIÓN AL COMPUTADOR

La instalación eléctrica se hizo en su mayoría en el interior del panel y está diseñada para apagar el compresor por cualquier orden de los presostatos y controladores de presión y así mismo por el termostato, ahora bien los ventiladores de la unidad condensadora y evaporador se pueden prender y apagar manualmente mientras que los ventiladores del secador se prenden manualmente o por señal del controlador de humedad y temperatura dentro de la cámara de secado, la instalación se la puede observar en la figura 4.8.



FIGURA 4.6 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La medición de la presión, temperatura y humedad pueden ser registradas por los controladores y enviadas al sistema de adquisición de datos CONV32 como se aprecia en la figura 4.9, que es el responsable de realizar la interface con el computador por medio del software Sitrad Local 4.10 como se puede ver en la figura 4.10, su manual de usuario esta en el ANEXO G y su manual de usuario en el ANEXO M.



FIGURA 4.7: ISOLATED INTERFACE CONV32



FIGURA 4.8: INTERFACE CON EL COMPUTADOR

4.9 ESQUEMA ELÉCTRICO

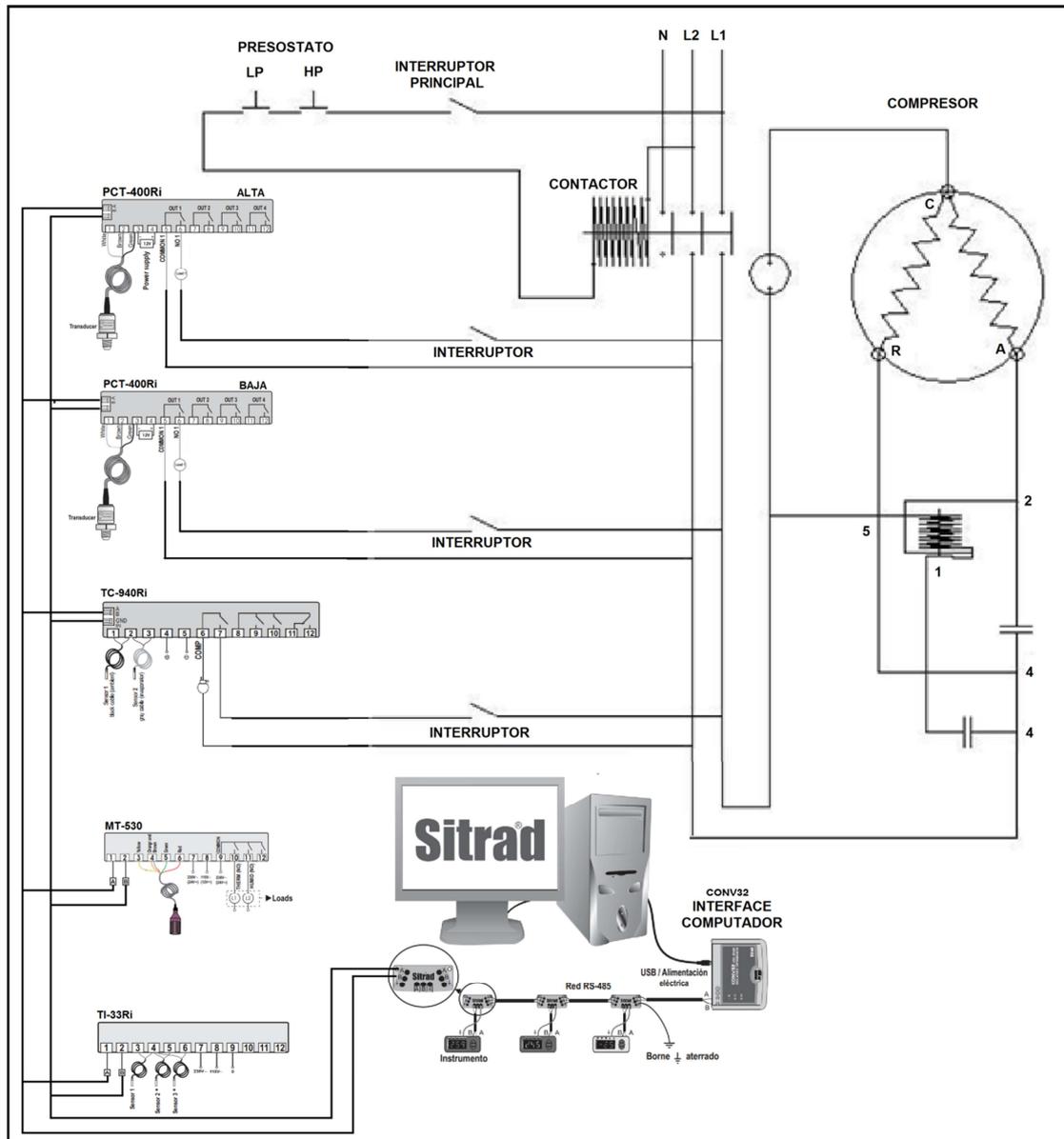


FIGURA 4.9: ESQUEMA ELÉCTRICO

CAPITULO 5

PRUEBAS, MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE PRUEBAS BOMBA DE CALOR Y SECADOR Y GUÍAS DE PRÁCTICAS

5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En las pruebas de funcionamiento se ha realizado la detección de fugas y posteriormente la carga de refrigerante para poner en marcha el compresor, una vez que se arranco se continuó con la calibración y puesta a punto de cada uno de los controladores y del encendido de los ventiladores desacuerdo a los niveles de humedad y temperatura configurados previamente en el contralor del secador.

Calibrado ya se procedió a seleccionar una materia prima para realizar la pruebas de funcionamiento para así poder llegar a una afinación d cada uno de los sistemas y después de varios ensayos y de cumplir el objetivo del proyecto de simular un secado lento a través de un sistema de bomba de calor se procedió a una prueba final con toma de datos para los cálculos de funcionamiento real del banco de pruebas.

5.1.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EXPERIMENTAL Y TOMA DE DATOS

La materia orgánica experimental que se ha seleccionado es el maíz para la prueba y toma de datos necesaria para calcular las condiciones de funcionamiento final y así poder extraer las conclusiones y recomendaciones del funcionamiento del banco de pruebas.

El Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente «lo que sustenta la vida». Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso.

Las variedades cultivadas fundamentalmente para alimentación comprenden el maíz dulce y el reventador.

La muestra que se utilizara es de 500 gr y se tomaran datos durante 4 horas para de todas las variables arrojadas por los instrumentos del controlador, como son la presión de succión, presión de descarga, temperatura a la entrada y salida del evaporador, temperatura del habitáculo frio, temperatura a la entrada y salida del condensador del secador, humedad y temperatura del secador.

Realizada la prueba de funcionamiento y toma de datos con los 500 gr de maíz después de cuatro horas se han obtenido los siguientes datos:

DATOS:

FECHA DE LA PRUEBA: 2013-02-01

TIEMPO: 4 horas

HORA INICIAL: 10:06:29

HOLA FINAL: 14:07:39

Datos iniciales bomba de calor:

TABLA 5.1: DATOS INICIALES BOMBA DE CALOR

TEMPERATURA AMBIENTAL	25,1 °C
HUMEDAD AMBIENTAL	40,80%
PRESIÓN DE DESCARGA	153 psi
PRESIÓN DE SUCCIÓN	78 psi
TEMPERATURA IN EVAPORADOR	24,8 °C
TEMPERATURA OUT EVAPORADOR	24,8 °C
TEMPERATURA HABITÁCULO FRIO	24,8 °C

Datos iniciales cámara del secador:

TABLA 5.2: DATOS INICIALES CÁMARA DEL SECADOR

TEMPERATURA AMBIENTAL	25,1 °C
HUMEDAD AMBIENTAL	40,80%
TEMPERATURA SECADOR	24,8 °C
HUMEDAD SECADOR	40,20%
TEMPERATURA IN CONDENSADOR	24,8 °C
TEMPOUT CONDENSADOR	24,8 °C

Datos bomba de calor estable:

TABLA 5.3: DATOS BOMBA DE CALOR ESTABLE

TEMPERATURA AMBIENTAL	25,1 °C
HUMEDAD AMBIENTAL	40,80%
PRESIÓN DE DESCARGA	192 psi
PRESIÓN DE SUCCIÓN	40 psi
TEMPERATURA IN EVAPORADOR	-13,9 °C
TEMPERATURA OUT EVAPORADOR	-5,9 °C
TEMPERATURA HABITÁCULO FRIO	-5,7 °C

Datos cámara de secador estable:

TABLA 5.4: DATOS CÁMARA DE SECADOR ESTABLE

TEMPERATURA AMBIENTAL	25,1 °C
HUMEDAD AMBIENTAL	40,80%
TEMPERATURA SECADOR	35
HUMEDAD SECADOR	10,00%
TEMPERATURA IN CONDENSADOR	63,1 °C
TEMP OUT CONDENSADOR	33,1 °C

5.1.2 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Temperatura ambiente:

$$T_a = 25.1 \text{ °C}$$

$$T_a := 298.25\text{K}$$

Temperatura de condensación:

$$T_c := 336.25\text{K}$$

Temperatura del habitáculo frio:

$$T_h = -5 \text{ °C}$$

$$T_h := 268.15\text{K}$$

Temperatura de evaporación:

$$T_e := 259.25\text{K}$$

Presión de condensación:

$$P_{\text{cond}} := 192\text{psi}$$

Presión de evaporación:

$$P_{\text{evap}} := 40\text{psi}$$

TEMPERATURA:

$$T1 := -5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T2 := 63.1\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T3 := 33.1\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T4 := 35\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T5 := 30\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T6 := -15\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T7 := -13.9\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T8 := -6.9\text{ }^\circ\text{C}$$

ENTALPIAS:

$$h1 := 363280 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h2 := 380545 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h3 := 378985 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h4 := 251970 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h5 := 244030 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h6 := 244030 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h7 := 251970 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h8 := 362292 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

VOLUMEN ESPECIFICO:

$$v1 := 0.038617 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v3 := 0.0099672 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

5.1.2.1 Potencia Frigorífica

$$Q_f := Q_T$$

$$Q_f = 328.135\text{W}$$

$$Q_{f1} := \frac{Q_f}{12000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}$$

$$Q_{f1} = 0.093$$

$$Q_{f1} = 0.318 \frac{1}{W} \cdot \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{f1} = 0.093 \text{ TR}$$

5.1.2.2 Caudal Másico Total De Refrigerante

Evaporador unidad de enfriamiento:

$$m_r := \frac{Q_T}{(h_8 - h_6)} \quad (5.1)$$

$$m_r = 9.989 \cdot \frac{kg}{hr}$$

5.1.2.3 Calor Evacuado En El Secador

$$Q_s := m_r \cdot (h_2 - h_3) \quad (5.2)$$

$$Q_s = 4.328 \text{ W}$$

5.1.2.4 Calor Evacuado En El Condensador

$$Q_c := m_r \cdot (h_3 - h_4) \quad (5.3)$$

$$Q_c = 352.421 \text{ W}$$

5.1.2.5 Caudal Volumétrico Total De Refrigerante Compresor

$$V_c := m_r \cdot v_1 \quad (5.4)$$

$$V_c = 0.386 \cdot \frac{m^3}{hr}$$

5.1.2.6 Razón De Compresión

$$RC := \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \quad (5.5)$$

$$RC = 4.8$$

5.1.2.7 Potencia Del Compresor

Rendimiento mecánico:

$$\eta_m := 0.80$$

Rendimiento volumétrico:

$$\eta_v := -0.0285 \cdot RC + 0.89 \quad (5.6)$$

$$\eta_v = 0.753$$

Rendimiento total:

$$\eta_T := \eta_m \cdot \eta_v \quad (5.7)$$

$$\eta_T = 0.603$$

Potencia del compresor:

$$P_c := m_r \cdot \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_T} \quad (5.8)$$

$$P_c = 0.107 \cdot \text{hp}$$

5.1.2.8 Caudal Volumétrico De Refrigerante En La Válvula De Expansión

Unidad de congelamiento:

$$V_1 := m_r \cdot v_3 \quad (5.9)$$

$$V_1 = 0.1 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

5.1.2.8 Factores De Performance Del Sistema De Enfriamiento

$$\text{FOP} := \frac{P_c}{Q_f} \quad (5.10)$$

$$\text{FOP} = 0.242$$

5.1.2.9 Coeficiente De Performance Del Sistema De Enfriamiento

$$\text{COP} := \frac{Q_f}{P_c} \quad (5.11)$$

$$\text{COP} = 4.127$$

5.1.3 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁSICO EN EL SECADOR

REFRIGERANTE:

TEMPERATURA: ENTALPIAS:

$$T_2 = 63.1^\circ\text{C} \quad h_2 = 3.805 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$T_3 = 33.1^\circ\text{C} \quad h_3 = 3.79 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

AIRE:

TEMPERATURA: ENTALPIAS:

$$T_{a1} = -5^\circ\text{C} \quad h_{a1} := 268256 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$T_{a2} = 35^\circ\text{C} \quad h_{a2} := 308383 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

5.1.3.1 Caudal De Refrigerante En El Condensador Del Secador

$$m_r = 9.989 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

5.1.3.2 Calor En El Sistema De Enfriamiento = Calor Del Secador

$$Q_s = Q_{es}$$

$$Q_s = m_1 \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{es} = m_a \cdot (h_{a2} - h_{a1})$$

$$m_1 \cdot (h_2 - h_3) = m_a \cdot (h_{a2} - h_{a1}) \quad (5.12)$$

5.1.3.3 Caudal Másico De Aire En El Secador

$$m_a := \frac{m_r \cdot (h_2 - h_3)}{(h_{a2} - h_{a1})} \quad (5.13)$$

$$m_a = 0.388 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

5.1.4 PRUEBAS EN EL SECADOR

Datos:

Temperatura de la cámara:

$$T_c = 35^\circ\text{C}$$

$$T_c := 308.15\text{K}$$

Humedad de la cámara:

$$H_m := 10\%$$

Masa de grano antes del secado:

$$m_o := 0.5\text{kg}$$

Masa de grano después del secado:

$$m_f := 0.23\text{kg}$$

5.1.4.1 Determinación De Humedad En El Producto Obtenido

1) Porcentaje De Agua En La Muestra Original

$$\% \text{ de agua de la muestra original} = \frac{\text{Peso Mojado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Mojado}}$$

$$H_i := \frac{m_o - m_f}{m_o} \quad (5.14)$$

$$H_i = 0.54$$

2) Porcentaje De Agua Muestra Final

$$\% \text{ de agua final de la muestra} = \frac{\text{Peso Seco} \cdot \% \text{ de agua de la muestra original}}{\text{Peso Mojado}}$$

$$H_f := \frac{m_f \cdot H_i}{m_o} \quad (5.15)$$

$$H_f = 0.248$$

3) Merma De Agua

$$\% \text{ merma} = \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \times 100$$

$$\% \text{ merma} := \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \cdot 100 \quad (5.16)$$

$$\% \text{ merma} = 0.292$$

5.1.4.2 Eficiencia Térmica Del Secador

$$E = \frac{\text{Calor utilizado en el secado}}{\text{Calor utilizado en el secado} + \text{Calor perdido en el aire a la salida}} \quad (5.17)$$

1) Calor Perdido A La Salida Del Secador

Caudal másico de aire en el secador:

$$m_a = 0.388 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Temperatura dentro del secador:

$$T_{a2} := 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura ambiental:

$$T_a = 25.1 \cdot ^\circ\text{C}$$

Calor perdido:

$$T_m := \frac{T_{a2} + T_a}{2}$$

$$T_m = 30.05 \cdot ^\circ\text{C}$$

Cp. del aire temperatura media:

$$C_p := 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q_p := m_a \cdot C_p \cdot (T_{a2} - T_a)$$

(5.18)

$$Q_p = 1.072 \text{ W}$$

2) Eficiencia

$$E := \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \quad (5.19)$$

$$E = 0.801$$

5.2 MANUAL DE OPERACIÓN BANCO DE PRUEBAS BOMBA DE CALOR Y SECADOR

El banco de pruebas ha sido estudiado para que pueda ser utilizado de manera fácil y el estudiante pueda interactuar fácilmente con los equipos y dispositivos con la finalidad de que pueda extraer la mayor cantidad de información de cada una de las variables. Este manual se encuentra en el ANEXO D.

5.3 GUÍAS DE LABORATORIO

Se han elaborado dos modelos de guías de laboratorio una para el sistema de bomba de calor y otra para el sistema de secador que se encuentra en los ANEXO E.

CAPITULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico estudia la estructura y evolución de los resultados del proyecto de tesis (ingresos y gastos) y de la rentabilidad de los capitales utilizados. Este análisis se realiza a través de la cuenta de Pérdidas y Ganancias.

En un inicio se estableció un presupuesto inicial y teórico; que luego del desarrollo del proyecto se llegó a obtener los costos finales y totales; los cuales se detallan a continuación.

6.1.1 COSTOS DIRECTOS

6.1.1.1 Equipos Y Materiales

Los costos directos en equipos y materiales son todos aquellos gastos que se han realizados durante el desarrollo del proyecto de tesis, transformándose estos en bienes terminados. Ahora bien cabe recalcar que la unidad condensadora y la unidad evaporadora han sido donadas por el laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M. las cuales han sido montadas he instaladas en el proyecto de tesis y que cada uno de los demás componentes y dispositivos utilizados en el mismo han sido en función de las unidades donadas, he ahí la complicitad de el haber adaptado los objetivos y las necesidades propuestas al inicio de la elaboración del proyecto de tesis.

Sin embargo los costos de estas dos unidades donadas para la ejecución de este proyecto han sido sumados en función de establecer un análisis económico total y global como se detalla en las siguientes tablas donde se clasifica pos gastos que se ha realizado.

TABLA 6.1: EQUIPOS E INSTRUMENTOS

EQUIPOS E INSTRUMENTOS			
DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNIT	V. TOTAL
UNIDAD CONDENSADORA(DONACIÓN) MODELO: CAJ9510Z MHR MARCA: L' UNITE HERMETIQUE	1	627,20	627,20
EVAPORADOR (DONACION) MODELO: LMSMB025E MARCA: MIPAL	1	246,40	246,40
CONDENSADOR SECADOR MODELO: CB-94 MARCA: THERMO-COIL	1	86,00	86,00
MOTOR VENTILADOR EVAPORADOR	2	29,00	58,00
CONTROLADOR DE PRESION MODELO: PCT-400RI PLUS MARCA: FULL GAUGE	2	109,00	218,00
CONTROLADOR HUM/TEMP MODELO: MT-530 SUPER MARCA: FULL GAUGE	1	115,00	115,00
TERMOMETRO MODELO: TI-33RI PLA MARCA: FULL GAUGE	1	59,00	59,00
TERMOSTATO MODELO: TC-900RI PLUS MARCA: FULL GAUGE	1	60,00	60,00
SENSOR DE PRESION ALTA MODELO: SB69-500A MARCA: FULL GAUGE	1	122,00	122,00
SENSOR DE PRESION BAJA MODELO: SB69-100A MARCA: FULL GAUGE	1	122,00	122,00
CONVERTIDOR DE DATOS MODELO: CONV32 MARCA: FULL GAUGE	1	66,00	66,00
DIAL MANÓMETRO ALTA R-404A	1	6,00	6,00
DIAL MANÓMETRO BAJA R-404A	1	6,00	6,00
		TOTAL USD	1791,60

TABLA 6.2: MESA Y TABLERO DE MONTAJE

MESA Y TABLERO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
ÁNGULO DE 40X3 MM	2	12,50	25,00
POLICARBONATO 2,10X2,10 M	1	80,00	80,00
MADERA	1	210,00	210,00
PUERTA DE ACRÍLICO	1	40,00	40,00
MADERA	1	6,50	6,50
LANA DE VIDRIO	4	3,50	14,00
CONSTRUCCIÓN SECADOR	1	135,00	135,00
TUBO Y ACCESORIOS DE 4"	1	30,00	30,00
RUEDAS	4	2,50	10,00
TOTAL USD			550,50

TABLA 6.3: ACCESORIOS

ACCESORIOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
VÁLVULA DE EXPANSIÓN	1	64	64
VÁLVULA SOLENOIDE	1	48,00	48,00
BOBINA	1	35,00	35,00
FILTRO SECADOR 3/8"	1	13,00	13,00
VISOR DE LÍQUIDO DANFOSS	1	25,30	25,30
CAÑERÍA DE COBRE 1/4"	10	0,75	7,50
CAÑERÍA DE COBRE 3/8"	13	1,25	16,25
CAÑERÍA DE COBRE 5/8"	10	2,30	23,00
CAÑERÍA DE COBRE 5/16"	10	1,76	17,60
SOLDADURA DE PLATA	7	0,65	4,55
TUERCA DE BRONCE 3/8"	5	0,90	4,50
TUERCA DE BRONCE 1/4"	3	0,60	1,80
TUERCA DE BRONCE 1/2"	4	1,90	7,60
UNIÓN DE COBRE 5/8	3	0,34	1,02
CODO DE COBRE 5/8	4	0,83	3,32
UNIÓN TURCA-TUERCA 1/2	1	1,90	1,90
BUCHING 1/4X1/8 BR	1	1,40	1,40
UNIÓN BRONCE 1/4	2	2,30	4,60
TRAMPA SIFON 5/8	1	4,37	4,37
UNIÓN DE COBRE 1/2	2	0,60	1,20
UNIÓN DE COBRE 5/16	2	0,80	1,60
TOTAL USD			228,46

TABLA 6.4: ACCESORIOS ELÉCTRICOS

ACCESORIOS ELÉCTRICOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
CONTACTOR ELÉCTRICO 220V 40	1	11,61	11,61
CABLE CONCÉNTRICO 2X18 AWG	3	0,68	2,04
CABLE CONCÉNTRICO 3X12 AWG	5	2,61	13,05
CABLE GEMELO #22	5	0,25	1,25
JGO. CONECTORES ELÉCTRICOS	1	1,78	1,78
JGO. TERMINALES ELÉCTRICOS	1	2,10	2,10
INTERRUPTOR PARA TABLERO	8	0,76	6,08
LUZ PILOTO 10MM	9	1,52	13,68
BASE ADHESIVA PARA AMARRA	25	0,14	3,50
JGO. AMARRACABLE 6"X4.8MM	1	1,67	1,67
RELE	3	9,67	29,01
BOTONERA 3X15AMP. V-0311	1	3,50	3,50
CINTA AISLANTE	2	1,20	2,40
		TOTAL USD	91,67

TABLA 6.5: MISCELÁNEO

MISCELÁNEOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL USD
SUMINISTROS DE OFICINA	150,00
COMBUSTIBLE	250,00
MATERIALES VARIOS	150,00
BIBLIOGRAFÍA	50,00
TOTAL USD	600,00

6.1.1.2 Manos De Obra

TABLA 6.6: MANO DE OBRA

DISEÑO	
Descripción	Valor Total USD
Luis Fernando Fierro Leverone	1000,00
TOTAL USD	1000,00

6.1.1.3 Asesoramiento

TABLA 6.7: ASESORAMIENTO

ASESORAMIENTO	
DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL USD
ING. ÁNGELO VILLAVICENCIO	500
ING. OWALDO MARIÑO	500
ING. CESAR ZAMBRANO	500
TOTAL USD	1500

6.1.2 COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

6.1.2.1 Costos Directos

TABLA 6.8: COSTOS DIRECTOS

TOTAL COSTOS DIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
EQUIPOS Y INSTRUMENTOS	1791.60
MESA Y TABLERO	550.50
ACCESORIOS	228.46
ACCESORIOS ELÉCTRICOS	91.67
MANO DE OBRA DIRECTA	1000.00
TOTAL USD	3662.23

6.1.2.2 Costos Indirectos

TABLA 6.9: COSTOS INDIRECTOS

TOTAL COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL USD
ASESORAMIENTO	1500,00
MISCELÁNEOS	600,00
TOTAL USD	2100.00

6.1.3 COSTO TOTAL

TABLA 6.10: COSTO TOTAL

COSTO TOTAL	
DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL USD
COSTOS DIRECTOS	3662.23
COSTOS INDIRECTOS	2100,00
TOTAL USD	5762.23

6.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Para una correcta toma de decisiones y para la correcta ejecución del proyecto se ha realizado un análisis financiero, para de esta manera poder tener claro las posibles pérdidas en las que se incurriría al momento de poner en marcha el proyecto.

El análisis financiero del presente proyecto está basado en un presupuesto inicial, lo cual permite desarrollar un plan de desembolso mensual para financiar el proyecto de grado, ahora bien al no ser un proyecto de inversión no se vuelve necesario hacer un análisis financiero más detallado.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se ha cumplido con el principal objetivo de diseñar y construir un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica de 1hp de capacidad, que usa refrigerante R-404A, con aplicación en un horno para secado de materia orgánica, para el laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M.

- Con el presente proyecto de tesis se contribuirá con el desarrollo tecnológico del laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M.

- El banco de pruebas permitirá que el estudiante entienda una de las aplicaciones importantes de un sistema de bomba de calor y como están mutuamente relacionadas las variables de presión, temperatura y humedad.

- Este proyecto de grado permite ver la interacción de los sistemas de bomba de calor y de secador por aire seco caliente y así poder investigar cuales son las condiciones optimas de aire para secar diferentes materias orgánicas, ahora cabe recalcar que es un sistema de secado que sus costos de fabricación y funcionamiento son elevados comparados con los secadores convencionales, por esta razón se determino como un banco de pruebas para investigación.

- Se ha concluido con la importancia de hacer circular el aire por el evaporador para que este se convierta en un aire ávido de humedad para posteriormente sea calentado nuevamente por el condensador en el secador y así pueda extraer fácilmente la humedad de la materia orgánica.

- Con el dispositivo de control de flujo de masa se ha podido concluir que a menor masa circulando por el condensador del secador se gana mayor temperatura en la cámara del secador.
- Finalmente se ha cumplido con el objetivo de extraer la humedad y secar lentamente la materia orgánica, con el fin de reducir la pérdida de las propiedades fisicoquímicas de cada materia orgánica expuesta al proceso de secado.

7.2 RECOMENDACIONES

- Leer estrictamente el manual de usuario y obedecer a cada una de las alertas y advertencias en el encendido y manejo del banco de pruebas para evitar daños y alteraciones en los dispositivos de control.
- Si existiera un daño en el banco de pruebas se debe analizar cuidadosamente y referirse a los esquemas y diagramas de funcionamiento y solo permitir que personal manipule o haga mantenimiento y reparaciones en el banco de pruebas.
- Instalar la debida conexión a tierra del laboratorio del laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M.
- Verificar siempre antes del encendido del banco de pruebas que estén prendidos los ventiladores del unidad condensadora y evaporador, así también este perfectamente cerradas la cámara del secador y el habitáculo frío.
- En caso de un arranque forzado, verifique que los botones de arranque forzado después de arrancar el equipo sean apagados nuevamente para el correcto funcionamiento del equipo.
- Recuerde siempre primero apagar la válvula solenoide y esperar que el banco de pruebas se apague automáticamente y después on/off.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- **Incropera, F. P. y De Witt, D. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall.**
- **Pitts, D. R. y Sissom, L. E. (1979). Transferencia de Calor. Colombia: McGRAW-HILL.**
- **Dossat, R. J. (2007). Principios de refrigeración. México: Prentice Hall.**
- **Manrique J. A. (1981). Transferencia de Calor. Colombia: Harla.**

DIRECCIONES DE INTERNET

- **Bomba de calor. Wikipedia. Recuperado de**
http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor
- **Secadores. Empresa Eficiente. Recuperado de**
<http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/secaderos-industriales>
- **Sistema de Frigorífico. Wikipedia. Recuperado de**
http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_frigor%C3%ADfico
- **Banco de pruebas. Gunt. Recuperado de**
http://www.gunt.de/static/s3458_3.php?p1=&p2=&pN=