



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERIA MECANICA – MECATRONICA

Ahorro Energético en un Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
Romero Garcia Addiel Elesban

TUTOR PRINCIPAL
M.I. Billy Arturo Flores Medero Navarro

MÉXICO, D. F. ENERO DEL 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Mendez Lavielle Federico

Secretario: Dr. Solorio Ordaz Francisco Javier

Vocal: M.I. Flores Medero Navarro Billy Arturo

1^{er}. Suplente: Dr. González Villela Víctor Javier

2^{do}. Suplente: M.I. Díaz Hernández Octavio

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, México D.F.

TUTOR DE TESIS:

M.I. Flores Medero Navarro Billy Arturo

FIRMA

Agradecimientos

Gracias a dios por darme la oportunidad de vivir y por bendecirme siempre para terminar esta etapa de mi vida.

Gracias a mis padres Pablo y Catalina, a quienes al inicio de mi vida me llevaron por un buen camino y aunque es una forma mínima de agradecer por todo su esfuerzo y dedicación, solo quiero que sepan que todos mis logros son sus logros.

Gracias a mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por su paciencia y enseñanza en especial a Billy Arturo Flores Medero Navarro por su gran apoyo y dirección.

Gracias a esa persona especial que siempre me apoyo aun en los momentos más difíciles y me alienta siempre a seguir adelante, gracias Gis.

Doy un especial agradecimiento al ingeniero Miguel Ángel Hernández Alcántara por su apoyo, esfuerzo y dedicación para la realización de esta tesis.

Pero sobre todo le agradezco su amistad incondicional y sus palabras de aliento que me motivaron a superar adversidades y poder concluir esta etapa de mi vida.

Atte. Adriel.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I	9
Objetivo, Motivación y Estado del Arte	9
Resumen del capítulo	9
I.1 Objetivo	9
I.2 Motivación	9
I.3 Estado del arte	10
CAPÍTULO II	15
Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor	15
II.1 Componentes básicos en un ciclo de refrigeración	15
II.1.1 Evaporador	15
II.1.2 compresor	19
II.1.3 Condensador	25
II.1.4 Dispositivos de estrangulamiento	29
II.1.5 Diagrama de mollier de un ciclo de Refrigeración	33
II.2 Aceites para refrigeración	34
II.3 Refrigerantes	35
II.4 Accesorios	37
II.5 Control en sistemas de refrigeración	39
CAPÍTULO III	41
DISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS	41
Resumen del capítulo	41
III.1 Calculo de cargas térmicas	41
III.1.1 Ganancia por cargas de paredes	41
III.1.2 La carga del producto	43
III.1.3 La carga por cambio de aire	44
III.2 Diseño de evaporador	45
III.2.1 Área de la superficie exterior del evaporador	46
III.2.2 Diferencia media logarítmica de temperatura	46

III. 3 Calculo de potencia del compresor	47
III.3.1 Gasto Volumétrico	47
III.3.2 Capacidad teórica del refrigerante	47
III.3.3 Efecto refrigerante	47
III.3.4 Capacidad del sistema	48
III.4 Diseño del condensador	48
III.4.1 Energía equivalente del trabajo de compresión	48
III.4.2 Área de la superficie exterior del condensador	49
III.5 Cálculos	49
III.6 Banco de pruebas	57
III.6.1 Etapa 1 construcción de serpentines	57
III.6.2 Etapa 2 ensamblaje de los 3 sistemas de refrigeración	59
III.6.3 Etapa 3 Elaboración de la etapa de control de los ciclos de refrigeración	62
III.6.4 Etapa 4 Ensamble de la etapa de medición en el interior del espacio a refrigerar	67
III.7 Ecuación de la energía y su aplicación en el ciclo de refrigeración.	68
III.7.1 compresor	69
III.7.2 Condensador	70
III.7.3 Válvula de estrangulamiento	70
III.7.4 Evaporador	70
III.8 Coeficiente de efecto frigorífico	71
CAPÍTULO IV	72
Resultados y análisis de resultados	72
Resumen del capitulo	72
IV.1 Resultados	72
IV.2 Análisis de resultados	79
CAPÍTULO V	87
Conclusiones	87
Apéndice A	88
Apéndice B	118
Apéndice C	125
Bibliografía	126

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Diagrama de bloques para un control convencional del refrigerador.</i>	10
<i>Figura 2 Diagrama de bloques para un control propuesto.</i>	10
<i>Figura 3 Temperatura en el congelador para un refrigerador convencional, oscilación en el (1) compresor, (2) en el relevador y (3) en el ventilador.</i>	11
<i>Figura 4 Temperatura en el congelador para sistema propuesto, oscilación en el (1) compresor, (2) en el relevador y (3) en el ventilador.</i>	11
<i>Figura 5 Diagrama esquemático del sistema de refrigeración en cascada CO₂/NH₃.</i>	12
<i>Figura 6 Esquema del sistema propuesto.</i>	13
<i>Figura 7 Diagrama de flujo del control propuesto.</i>	14
<i>Figura 8 Diseños comunes de serpentín de tubo descubierto, A)zig zag, B)Trombón ovalado.[11]</i>	16
<i>Figura 9 Diseños comunes de serpentín de placa. [12]</i>	17
<i>Figura 10 Diseño común de serpentín aletado. [12]</i>	18
<i>Figura 11 Clasificación de compresores dependiendo de su funcionamiento.</i>	20
<i>Figura 12 Tiempos de funcionamiento de un compresor alternativo.[8]</i>	21
<i>Figura 13 Tiempos de funcionamiento de un compresor rotativo. [13]</i>	22
<i>Figura 14 Principio de funcionamiento del compresor scroll. [13]</i>	23
<i>Figura 15 Principio de funcionamiento del compresor tornillo 1) aspiración, 2) compresión, 3) escape. [13]</i>	24
<i>Figura 16 Partes y funcionamiento de un condensador evaporativo. [14]</i>	27
<i>Figura 17 Partes y funcionamiento de un condensador refrigerado. [14]</i>	28
<i>Figura 18 Válvulas de expansión automática presostática.</i>	31
<i>Figura 19 Partes de una válvula termostática.</i>	32
<i>Figura 20 Dimensiones de los evaporadores.</i>	57
<i>Figura 21 Dibujo del evaporador terminado.</i>	58
<i>Figura 22 Dimensiones de los condensadores.</i>	58
<i>Figura 23 Dibujo del condensador terminado.</i>	59
<i>Figura 24 1er ciclo de refrigeración instalado.</i>	59
<i>Figura 25 2do ciclo de refrigeración instalado.</i>	60
<i>Figura 26 Banco de pruebas ensamblado e instalado.</i>	60
<i>Figura 27 Primera configuración, dos evaporadores a los lados y un evaporador abajo.</i>	60
<i>Figura 28 Fotografía de los evaporadores para la primera configuración.</i>	61
<i>Figura 29 Segunda configuración, dos evaporadores a los lados y un evaporador arriba.</i>	61
<i>Figura 30 Fotografía de los evaporadores para la segunda configuración.</i>	62
<i>Figura 31 Sensor LM35 encapsulado y diagrama de conexión.</i>	63
<i>Figura 32 Transistor TIP 31.</i>	65
<i>Figura 33 Relevador de bobina de 5V.</i>	65
<i>Figura 34 Simulación del circuito para controlar los compresores.</i>	66
<i>Figura 35 Circuito que controla el arranque y paros de los compresores.</i>	66
<i>Figura 36 Distribución de los sensores LM35 en el mallado.</i>	67
<i>Figura 37 Circuito para conocer la distribución de temperatura.</i>	67
<i>Figura 38 Mallado en el interior del espacio refrigerado en el banco de pruebas.</i>	68
<i>Figura 39 Simulación del mallado para sensar la distribución de calor.</i>	68
<i>Figura 40 Banco de Pruebas en operación.</i>	72
<i>Figura 41 Banco de pruebas en operación.</i>	73
<i>Figura 42 Banco de pruebas en operación.</i>	73

<i>Figura 43 Banco de pruebas en operación.</i>	74
<i>Figura 44 Primera configuración de evaporadores.</i>	80
<i>Figura 45 Distribución de calor dentro del espacio a refrigerar visto de frente, rojo calor, azul frío.</i>	81
<i>Figura 46 Distribución de calor dentro del espacio a refrigerar visto por arriba, rojo calor, azul frío.</i>	82
<i>Figura 47 Segunda configuración de los evaporadores.</i>	82
<i>Figura 48 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto de frente, rojo calor, azul frío.</i>	83
<i>Figura 49 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto por la parte de arriba, rojo calor, azul frío.</i>	84
<i>Figura 50 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto de frente.</i>	85
<i>Figura 51 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto por la parte de arriba.</i>	85

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1 Proceso que se lleva a cabo en el evaporador.</i>	19
<i>Diagrama 2 Proceso que se lleva a cabo en el compresor.</i>	25
<i>Diagrama 3 Proceso que se lleva a cabo en el evaporador.</i>	28
<i>Diagrama 4 Proceso que se lleva a cabo en la válvula de expansión.</i>	33
<i>Diagrama 5 Proceso que se lleva a cabo en todo el ciclo de refrigeración.</i>	33
<i>Diagrama 6 Campana de saturación para el refrigerante R134a.</i>	55
<i>Diagrama 7 Diagrama presión-entalpía para el ciclo de refrigeración completo.</i>	69
<i>Diagrama 8 Diagrama presión-entalpía para el primer sistema de refrigeración.</i>	74
<i>Diagrama 9 Diagrama presión-entalpía para el segundo sistema de refrigeración.</i>	76
<i>Diagrama 10 Diagrama presión-entalpía para el tercer sistema de refrigeración.</i>	77
<i>Diagrama 11 Diagrama presión-entalpía para el refrigerador convencional doméstico.</i>	78

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Designación de números a los principales refrigerantes (el número entre paréntesis representa el porcentaje de cada componente). [15]</i>	37
<i>Tabla 2 Diferentes tipos de accesorios para refrigeración.[15]</i>	38
<i>Tabla 3 Conductividad térmica para varios materiales.</i>	43
<i>Tabla 4 Promedios de los cambios de aire dependiendo del volumen a refrigerar.</i>	45
<i>Tabla 5 Factores de rechazo de calor.</i>	49
<i>Tabla 6 Datos de diseño (masa y calor específico) para diferentes productos</i>	51
<i>Tabla 7 Carga cedida por los productos.</i>	52
<i>Tabla 8 Intervalos de temperatura para el control de compresores.</i>	62
<i>Tabla 9 COPs.</i>	79
<i>Tabla 10 Datos recopilados en la medición de temperatura para la primera configuración.</i>	100
<i>Tabla 11 Datos recopilados en la medición de temperatura para la segunda configuración.</i>	111
<i>Tabla 12 Datos recopilados en la medición de temperatura en un refrigerador comercial doméstico.</i>	117

ÍNDICE DE GRAFICAS

<i>Grafica 1 Grafica de los valores de la tabla 10.</i>	81
<i>Grafica 2 Grafica de los valores de la tabla 11.</i>	83
<i>Grafica 3 Grafica de los valores de la tabla 12.</i>	84

NOMENCLATURA

<i>Qa</i>	Calor desalojado en el absorvedor.
<i>Qe</i>	Calor que entra en el evaporador.
<i>Qc</i>	Calor desalojado en el condensador.
<i>Qg</i>	Calor introducido en el generador.
<i>Wc</i>	Trabajo realizado por el compresor.
<i>P</i>	Coeficiente de Ettingshausen.
$\frac{dT}{dx}$	Gradiente de temperatura.
<i>I_y</i>	Flujo eléctrico en el eje y.
<i>B_z</i>	Campo magnético.
<i>dz</i>	Espesor del material.
<i>K</i>	Kelvin.
<i>T</i>	Teslas.
<i>A</i>	Ampere.
<i>V₁</i>	Volumen a la entrada del sistema.
<i>P₁</i>	Presión a la entrada del sistema.
<i>V₂</i>	Volumen a la salida del sistema.
<i>P₂</i>	Presión a la salida del sistema.
<i>Q₁</i>	Carga de calor Transferida en paredes $\frac{BTU}{h}$.
<i>A₁</i>	Área de la superficie externa del espacio a refrigerar ft^2 .
<i>U₁</i>	Coeficiente total de transmisión de calor $\frac{BTU}{h*ft^2*F}$.
<i>D₁</i>	Diferencial de temperatura a través de las paredes <i>F</i> .
<i>C</i>	Conductividad térmica para la pared.
<i>f_i</i>	Coeficiente de convección del aire interior.
<i>f_o</i>	Coeficiente de convección del aire exterior.
<i>T_e</i>	Temperatura exterior F.
<i>T_i</i>	Temperatura interior F.
<i>Q₂</i>	Carga de calor Transferida en por el producto $\frac{BTU}{h}$.
<i>m</i>	Masa del producto lb.
<i>c</i>	Calor específico $\frac{BTU}{h*F}$
<i>ΔT</i>	Cambio de temperatura F.
<i>Q₃</i>	Carga de calor cedido por la metabolización del producto $\frac{BTU}{h}$.
<i>t_D</i>	Tiempo deseado de enfriamiento h.
<i>cca</i>	Carga de cambios de aire $\frac{BTU}{h}$.
<i>fca</i>	Factor de cambio de aire $\frac{BTU}{h*ft^3}$.
<i>ca</i>	Cambios de aire.
<i>V_i</i>	Volumen interior ft^3 .
<i>Q₄</i>	Carga total de enfriamiento $\frac{BTU}{h}$.
<i>A₂</i>	Área de la superficie exterior del condensador ft^2 .
<i>U₂</i>	Factor total de conductancia (cobre) $\frac{BTU}{h*ft^2*F}$.
<i>D₂</i>	Diferencia de temperatura media logarítmica (DTML)
<i>r_t</i>	Radio del tubo de cobre m.
<i>l_e</i>	Longitud del tubo para el evaporador m.

T_r	Temperatura del refrigerante que llega al evaporador F.
T_{r2}	Temperatura del refrigerante que sale del evaporador F.
V_p	Gasto volumétrico.
vdr	Volumen desplazado por revolución.
v	Velocidad rpm.
\dot{m}	Flujo másico del refrigerante.
V_3	Volumen específico del refrigerante.
h_{vs}	Entalpia vapor saturado.
h_{ls}	Entalpia liquido saturado.
Q_e	Capacidad del refrigerante $\frac{BTU}{min}$
q_e	Efecto refrigerante $\frac{BTU}{lb}$.
$eetc$	Energía Equivalente de compresión.
Q_4	Capacidad del sistema.
frc	Factor de rechazo de calor.
cc	Capacidad del compresor.
Q_c	Carga en el condensador $\frac{BTU}{h}$.
A_c	Área de transferencia del condensador.
D_3	Diferencial media de temperatura F.
l_c	Longitud del tubo para el condensador m.
T_{r3}	Temperatura del refrigerante que llega al condensador F.
T_{r4}	Temperatura del refrigerante que sale del condensador F.
T_{ic}	Temperatura del aire que sale del serpentín.
T_{ec}	Temperatura del aire que entra al serpentín.
W	Intercambio de trabajo con el exterior por unidad de tiempo kJ/s .
Q	Intercambio de calor con el exterior por unidad de tiempo (kJ/s).
$\frac{v^2}{2}$	Energía cinética.
gz	Energía potencial.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería es la aplicación del conocimiento científico para transformar lo que se plantea en un papel en algo físico, utilizando los materiales y el control de las fuerzas naturales para el beneficio de la humanidad.

Una de las áreas de interés de la ingeniería es el área térmica. Esta área se representa por medio de sistemas térmicos los cuales son muy difíciles de controlar pues en la mayoría intervienen los tres tipos de transferencia de calor, cambios de estados de los flujos, cambio de propiedades por la temperatura además de cambios de geometrías.

Uno de los sistemas térmicos más importantes es el sistema de enfriamiento. Este es muy utilizado en muchos otros sistemas como son los eléctricos, los electrónicos, los mecánicos y lo más importante para tener una mejor calidad de vida en uso de aires acondicionados y conservación de alimentos.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, la técnica del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial a que obliga a la mejor calidad de vida. La refrigeración tiene un amplísimo campo en lo que respecta a la conservación de alimentos (barcos congeladores de pescado en alta mar, plantas refrigeradoras, etc.) y productos farmacéuticos. Esto da una idea del grandísimo interés universal que reviste proceso frigorífico desde el punto de vista humano y social.

En los Refrigeradores domésticos se tiene como sensor los termostatos, estos sensores no tienen una gran sensibilidad a la temperatura por lo cual se puede tomar que tienen arranques por ciclos de trabajo y no tienen gran control en la temperatura por lo tanto tiene arranques innecesarios en el compresor, tomando en cuenta lo anterior se propone como hipótesis que si se tiene un mejor control en el sensado de la temperatura solo se tendrán los arranques y tiempos de trabajos necesarios para mantener la temperatura deseada y con esto se reducirá el consumo de energía en el refrigerador.

Para tal efecto, se diseña y analizan tres ciclos de refrigeración por compresión de vapor considerándolos ideales y libres de perturbaciones externas.

En el capítulo I se presenta el objetivo, la motivación y el estado del arte en donde se da una pequeña reseña de las investigaciones recientes sobre el tema de refrigeración.

El capítulo II se muestra más a detalle el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, se definen y se clasifican cada uno de los componentes básicos de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor dando las ventajas y desventajas de cada elemento, adicionalmente se definen los accesorios más utilizados para mejorar la eficiencia del ciclo de refrigeración.

El capítulo III se detalla el diseño mecánico, el cual consiste en el cálculo y diseño físico de todos los componentes en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor basándose en las ecuaciones de transferencia de calor.

En el capítulo IV se presentan los resultados y se analizan los resultados del presente trabajo.

Capítulo V se presentan las conclusiones obtenidas en este trabajo de tesis.

CAPÍTULO I

Objetivo, Motivación y Estado del Arte

Resumen del capítulo

En este capítulo se muestran el objetivo y la motivación para la escritura de la tesis “Ahorro Energético en un Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor” se hace una pequeña reseña sobre las más recientes investigaciones para hacer más eficiente el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

I.1 Objetivo

Esta tesis tiene por objetivo proponer un sistema e implementarlo en un banco de pruebas que busca obtener un ahorro energético en los refrigeradores comerciales, con el fin de que este ahorro se vea reflejado en el consumo de energía eléctrica y como consecuencia una reducción en la facturación de la energía eléctrica, este sistema se enfoca en tener un mejor control en el sensado de temperaturas al interior del espacio refrigerado así como cambiar el ciclo de refrigeración convencional por tres ciclos de refrigeración independientes de menor potencia.

I.2 Motivación

Ya que en estos tiempos en que adolecemos de recursos como lo son: energéticos, económicos y naturales se tiene que tomar acciones para el ahorro de estos recursos para contrarrestar el desabasto de estos.

La energía más utilizada en el hogar es la energía eléctrica, pues existen muchos aparatos electrodomésticos como los son el microondas, la lavadora, el refrigerador, la licuadora, etc. De los electrodomésticos antes mencionados uno de los que más consumen energía eléctrica es el refrigerador ya que este se encuentra conectado todo el día teniendo arranques intermitentes.

La principal motivación de este trabajo de tesis es que si se obtiene un ahorro en la energía del refrigerador la economía del hogar se vería beneficiada y se disminuiría la contaminación, aunque en este trabajo se hace una pequeña reducción de energía, comparado con la energía consumida en el país, al hacer este cambio en todos los refrigeradores domésticos se obtendría una

disminución considerable en consumo de energía eléctrica en el país y por lo tanto una mayor disminución en contaminación.

I.3 Estado del arte

En la actualidad se están realizando varias investigaciones y publicado varios artículos sobre el área térmica más en específico en dispositivos que obtienen bajas temperaturas, existen diferentes líneas de investigación como es el uso eficiente de los componentes de los ciclos de refrigeración [1], el cambio de refrigerante [3] o la mejora del material aislante [2].

En Europa se está investigando un mejor control de la temperatura al interior del espacio refrigerado [4], en el artículo escrito por Alberto Leva, Luigi Piroddi, Massimiliano Di Felice , Alessandro Boer y Raffaele Paganini proponen un control adaptivo para el sistema de lazo cerrado que utiliza el refrigerador comercial para el arranque o parada del compresor, basándose en los datos obtenidos por la empresa Whirlpool Europa, sostienen que si se reduce la amplitud de la oscilación y la frecuencia de oscilación en el sensado de temperatura se obtendrá un ahorro energético en el refrigerador.

El control de un refrigerador comercial consta de tres dispositivos los cuales son el relevador, el bulbo sensor y el termostato, estos componentes hacen que la temperatura oscile en el punto seleccionado en el termostato (set-point), en la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del control convencional del refrigerador.

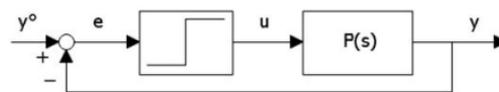


Figura 1 Diagrama de bloques para un control convencional del refrigerador.

En el artículo proponen Introducir un filtro en el control de un refrigerador comercial para controlar la amplitud y la frecuencia de oscilación, en la figura 2 Se muestra el diagrama de bloques del control propuesto para el refrigerador.

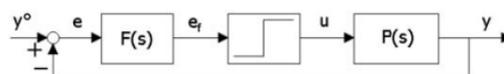


Figura 2 Diagrama de bloques para un control propuesto.

El filtro propuesto tiene la forma

$$F(s) = \frac{1 + sT_z}{1 + sT_p}$$

Obtuvieron el modelo matemático y lo simularon llegando a conclusiones satisfactorias de acuerdo a los requerimientos de conservación de comida y consumo de energía.

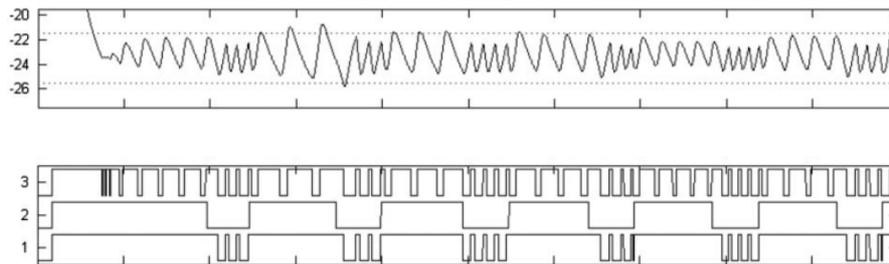


Figura 3 Temperatura en el congelador para un refrigerador convencional, oscilación en el (1) compresor, (2) en el relevador y (3) en el ventilador.

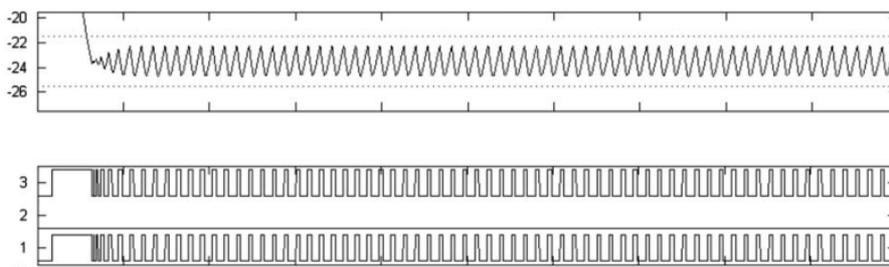


Figura 4 Temperatura en el congelador para sistema propuesto, oscilación en el (1) compresor, (2) en el relevador y (3) en el ventilador.

Para validar el sistema propuesto lo implementaron en un refrigerador comercial de Whirlpool, obteniendo resultados satisfactorios, el sistema propuesto es muy simple y se puede implementar en la producción de refrigeradores y así tener una mayor eficiencia en los refrigeradores.

Se han realizado investigaciones donde se controlan las variables de temperatura exterior, la carga que introduce el gabinete, carga del producto y el ajuste del termostato, y se han determinado que las variables que más influyen en el consumo de energía son la carga del producto y la temperatura al exterior del refrigerador, pues al ser mayor el gradiente de temperatura existe mayor transferencia de calor al interior del espacio refrigerado.

Para disminuir el gradiente de temperatura se han realizado investigaciones en nuevos materiales para el aislar el refrigerador [002], en estas investigaciones se han realizado pruebas con nuevos materiales, materiales de cambio de fase PCM (mezcla de cemento, tierra y aditivos).

Por el efecto de los materiales de cambio de fase se ha podido disminuir las variaciones de temperatura al interior del refrigerador, en la investigación realizada por B. Gin, M.M. Farid, P.K. Bansal[2] se concluye que el PCM limita el aumento de la temperatura en el refrigerador debido que el PCM aporta la carga de enfriamiento cuando está apagado y descongelándose el evaporador.

Otra línea de investigación es utilizar otros tipos de gases como refrigerantes, en el artículo escrito por J. Alberto Dopazo y José Fernández-Seara[3] en el cual se hacen pruebas utilizando el gas CO_2 como refrigerante, teniendo como conclusión que el utilizar el CO_2 como refrigerante es una buena alternativa de refrigerante, el inconveniente es que se necesita una sistema muy grande para obtener el CO_2 como lo muestra la figura 5. En esta figura se muestra el sistema que utilizaron para realizar su experimento.

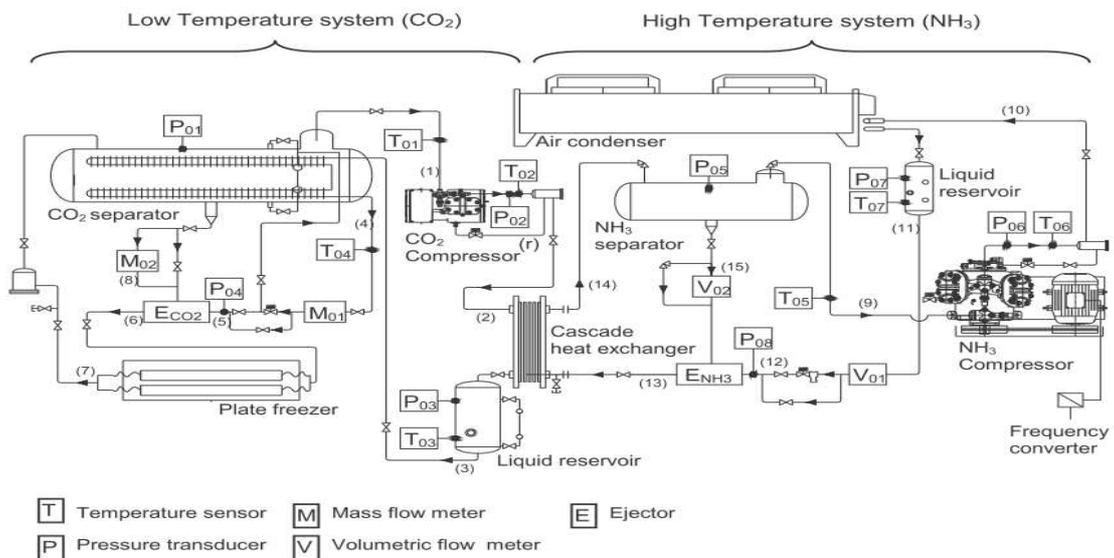


Figura 5 Diagrama esquemático del sistema de refrigeración en cascada CO_2/NH_3 .

En el artículo escrito por Zhili Lu y Guoliang Ding [5] proponen un nuevo ciclo de refrigeración, haciendo una derivación en el ciclo de refrigeración convencional obteniendo dos evaporadores en paralelo el cual es controlado por la temperatura sensada al interior del espacio refrigerado y en el congelador, controlando el flujo en los evaporadores por válvulas by-pass de tres vías. En la figura 6 Se muestra el esquema propuesto en el artículo.

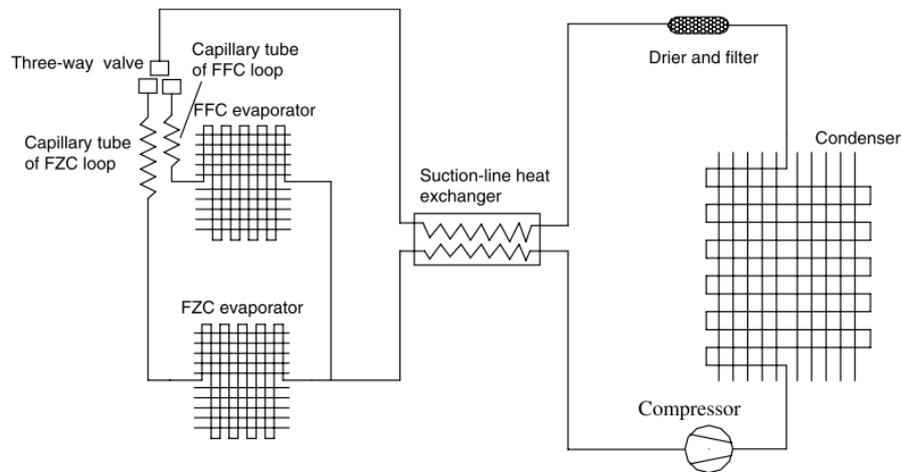


Figura 6 Esquema del sistema propuesto.

El control que proponen para este sistema se basa en el sensado al interior del espacio refrigerado y de congelación y un tiempo de trabajo para mantener la temperatura en la figura 7 Se muestra el diagrama de flujo del control propuesto.

Con esta investigación concluyen que con el sistema propuesto y el control propuesto un refrigerador comercial consume 0.99 % más energía que en un refrigerador comercial, esto se debe a la conmutación del lazo del congelador y el refrigerador, y más arranques del compresor para sostener la temperatura deseada tanto en el refrigerador y el congelador.

Recientemente se ha experimentado con la criogenia para la conservación de comida [006], esta tecnología no es muy usada para este propósito por sus altos costos de operación, además de que no se ha logrado tener un control suficiente para los líquidos criogénicos (nitrógeno líquido, helio líquido, etc.).

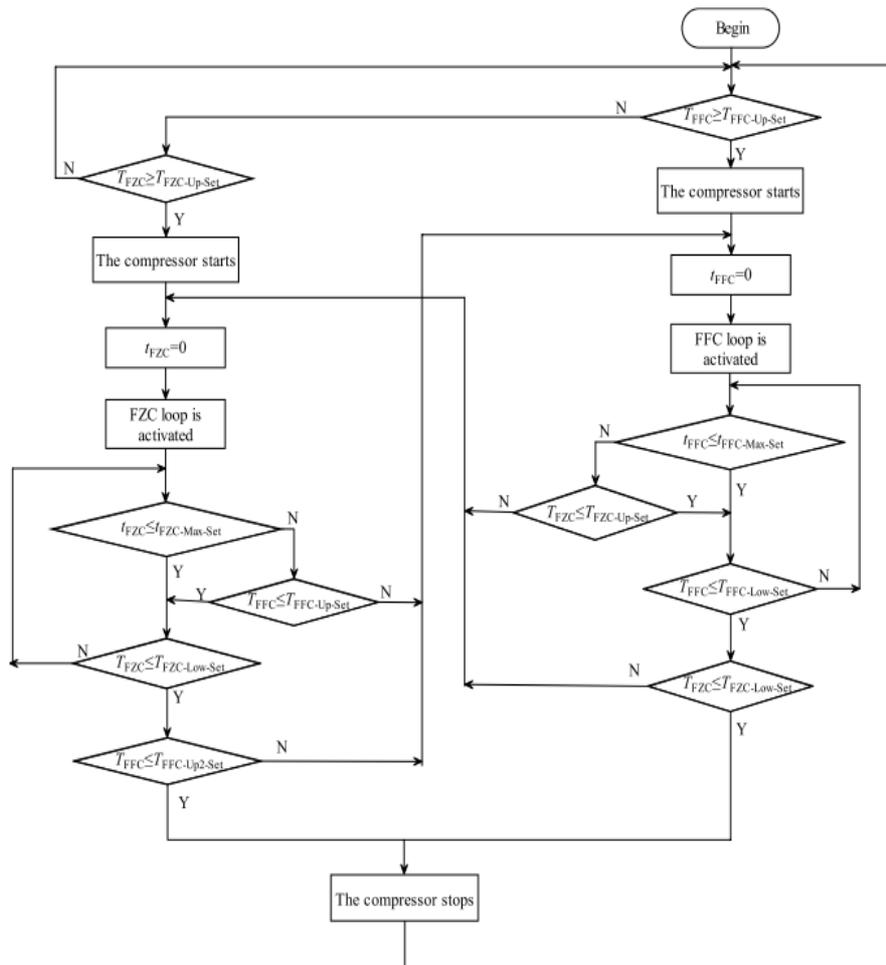


Figura 7 Diagrama de flujo del control propuesto.

CAPÍTULO II

Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor

Resumen del capítulo

En este capítulo se ve a detalle los componentes del ciclo de refrigeración por compresión de vapor que es el ciclo que se utiliza en el presente trabajo, primeramente se muestra los diferentes tipos de evaporadores existentes, seguido del compresor, condensador y válvula de estrangulamiento, mostrando su ubicación en el diagrama de Mollier, se muestran los refrigerantes y aceites utilizados en este ciclo, por último se muestra los accesorios más utilizados en los ciclos de refrigeración por compresión de vapor.

II.1 Componentes básicos en un ciclo de refrigeración

Un ciclo de refrigeración de compresión de vapor tiene cinco componentes básicos los cuales hacen que circule el refrigerante y con ello hacer la transferencia de calor, estos componentes básicos son: evaporador, compresor, condensador, válvula de estrangulamiento y la tubería que conecta al sistema.

A continuación se hace un análisis breve de cada uno de los componentes básicos de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

II.1.1 Evaporador

Un evaporador es una superficie de transferencia de calor en el cual se vaporiza un líquido refrigerante para eliminar calor de un espacio o producto refrigerado. Debido a las muchas y diversas aplicaciones de la refrigeración mecánica, los evaporadores se fabrican con una gran variedad de tipos, formas, tamaños y diseños y se pueden clasificar de diferentes maneras:

- ❖ Tipo de construcción.
- ❖ Método de alimentación del líquido.
- ❖ Condiciones de operación.

- ❖ Método de circulación de aire.
- ❖ Tipo de control del refrigerante.
- ❖ Aplicación

De estas clasificaciones las más usadas es por el tipo de construcción. Los tres tipos principales de construcción de evaporadores son:

- ❖ De tubo descubierto.
- ❖ De superficie de placa.
- ❖ Aletados.

II.1.1.1 Evaporadores de tubo descubierto

Por lo general se construyen con tubos de acero o de tubo de cobre, el tubo de acero se usa en evaporadores grandes y en evaporadores que trabajan con amoníaco, mientras que los de tubo de cobre se usan en evaporadores pequeños y que trabajan con refrigerantes que no sean amoníaco. Los evaporadores de tubo descubierto se fabrican en gran número de tamaños, formas, diseños y es muy común sean fabricados a la medida según el caso específico.



(A)

(B)

Figura 8 Diseños comunes de serpentín de tubo descubierto, A)zig zag, B)Trombón ovalado.[11]

En la figura 8 se muestran algunas formas comunes de serpentines de tubo descubierto con forma de zig zag plana y trombón ovalado.

II.1.1.2 Evaporadores de superficie de placa

Los evaporadores de superficie de placa (figura 9) son de varios tipos. Algunos son contruidos con dos placas de metal realzadas y soldadas una con otra de tal modo que pueda fluir el refrigerante entre las dos placas. Este tipo de evaporadores son muy usados en refrigeradores y congeladores caseros debido a que su limpieza es muy fácil, su fabricación muy económica y pueden construirse en cualquier forma requerida.



Figura 9 Diseños comunes de serpentín de placa. [12]

III.1.1.3 Evaporadores aletados

Los evaporadores aletados (figura 10) son serpentines de tubo descubierto sobre los cuales se colocan placas metálicas o aletas. Las aletas, sirven como superficie secundaria absorbedoras de calor y tiene el efecto de aumentar el área superficial externa del evaporador, mejorándose por lo tanto la eficiencia para enfriar aire u otros gases.

Es evidente que para que las aletas sean efectivas deberán estar unidas a la tubería de tal manera que se asegure un buen contacto térmico entre las aletas y la tubería. El tamaño y espaciamiento de las aletas en parte depende del tipo de aplicación para el cual está diseñado el serpentín, el tamaño del tubo determina el tamaño de la aleta, el espaciamiento de aletas varía desde 1 hasta 14 aletas por pulgada dependiendo principalmente de la temperatura de operación del serpentín.

La acumulación de escarcha es inevitable en serpentines trabajando a temperaturas bajas debido a que la acumulación de escarcha sobre serpentines aletados tiende a restringir el paso del aire entre las aletas y a retardar la circulación del aire a través del serpentín, los evaporadores

diseñados para aplicaciones de baja temperatura deben tener un mayor espaciamiento a fin de minimizar el daño por la restricción en la circulación del aire.



Figura 10 Diseño común de serpentín aletado. [12]

Los procesos que tienen lugar en el evaporador se representan en el diagrama 1 por la línea $A \rightarrow C$, que es una línea horizontal y por tanto de presión constante. En el punto A, llega al evaporador una mezcla de refrigerante líquido y refrigerante vapor procedente del dispositivo de expansión. Esta mezcla se encuentra a baja temperatura y a baja presión.

El proceso $A \rightarrow B$ representa la ebullición del refrigerante líquido; a lo largo de este tramo el líquido se vaporiza, ganando calor latente procedente de la cámara que queremos enfriar. Durante este proceso la temperatura y la presión permanecen teóricamente constantes.

Al llegar al Punto B, se acaba el líquido refrigerante y todo el fluido refrigerante se encuentra en estado vapor. Aunque el vapor está a baja temperatura, su escasa capacidad para absorber calor, hace que su uso para enfriamiento de producto ya no sea interesante.

El proceso $B \rightarrow C$ recibe el nombre de recalentamiento, consiste en ceder algo de calor al vapor refrigerante para alejarlo de la línea de saturación, este calor, habitualmente procede de la cámara o mercancía y se propicia su cesión en las últimas filas del evaporador. El objeto del recalentamiento es el de asegurar que no entra refrigerante líquido al compresor que podría dañarlo, dado que no se comprime.

Al fenómeno de entrada de líquido en el compresor se le conoce como golpe de líquido. Durante el recalentamiento en refrigerante incrementa su temperatura (entre $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $8\text{ }^{\circ}\text{C}$),

permaneciendo la presión constante. Es necesario tener en cuenta que hay sistemas frigoríficos que trabajan sin recalentamiento.

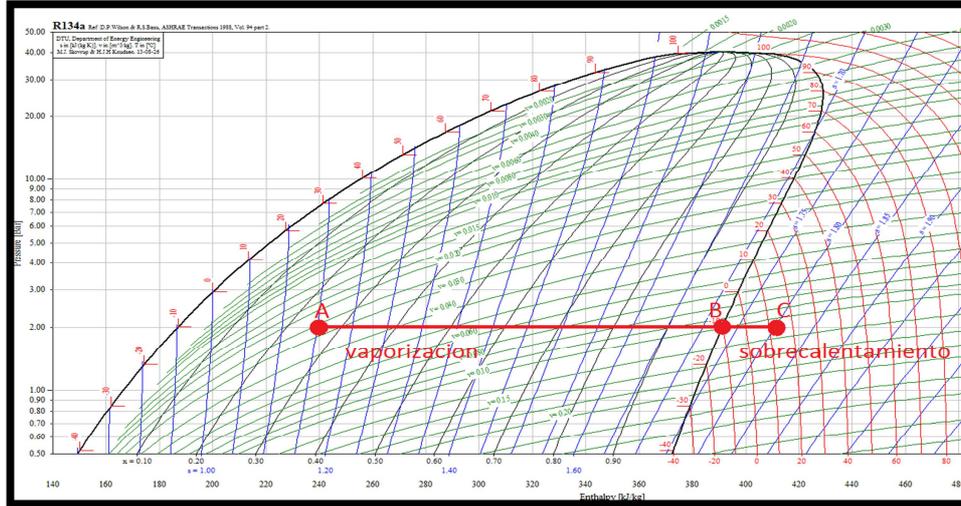


Diagrama 1 Proceso que se lleva a cabo en el evaporador.

II.1.2 compresor

La principal función del compresor es aumentar la presión de evaporación hasta la presión de condensación.

El aumento de la presión produce algunas funciones secundarias:

- ❖ La elevada presión de descarga proporciona la energía necesaria para hacer que el refrigerante circule a través de la tubería y el equipo, venciendo la resistencia de fricción.
- ❖ El gran diferencial de presión creado causa la expansión súbita en el dispositivo de expansión, causando una caída de temperatura.

El compresor bombea el vapor cargado de calor del evaporador, esto provoca la baja presión que es mantenida en el evaporador por el compresor y la limitación del flujo en el evaporador ejercida por el control del refrigerante líquido del lado de entrada al evaporador. Así, la temperatura y presión resultante del refrigerante saturado se ve reducida, el refrigerante hierve y se vaporiza absorbiendo calor latente a baja presión y temperatura. El vapor cargado de

calor es comprimido por el compresor, incrementando la presión y bombea el refrigerante al condensador perdiendo ahí el calor ganado en el evaporador.

Todos los compresores de refrigeración requieren lubricar sus superficies en movimiento, la distribución del lubricante puede ser mediante sistemas de salpicado, de cigüeñal o por bomba de aceite independiente. Como se espera que parte del lubricante sea transportado junto con el gas de descarga, el aceite debe ser miscible con el refrigerante y compatible con el sistema diseñado para transportar el aceite a través del condensador y evaporador y devolverlo al cárter del compresor.

Los compresores son los dispositivos encargados de hacer pasar el refrigerante desde la presión de evaporación a la presión de condensación, por lo que hay que hacer un aporte exterior de trabajo.

El tipo de compresor depende del tipo de refrigerante utilizado. En las máquinas de desplazamiento positivo se aplica una fuerza exterior para obligar a un cierto volumen de gas o vapor a desplazarse desde el recinto a baja presión hasta el recinto a alta presión(vease figura 8).

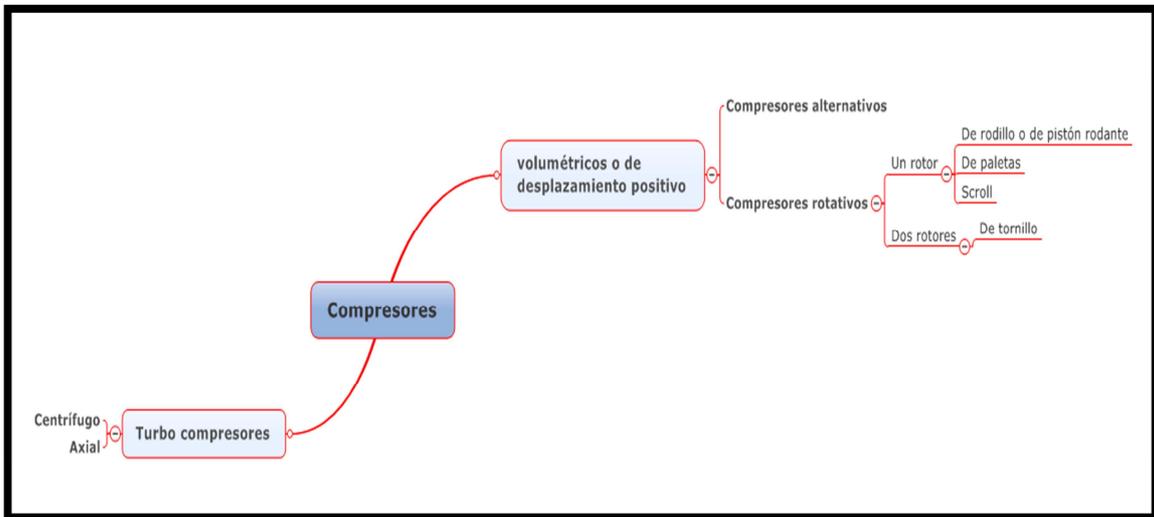


Figura 11 Clasificación de compresores dependiendo de su funcionamiento.

II.1.2.1 compresor alternativo

El dispositivo de compresión consta primordialmente de un cilindro y un émbolo que se desliza interiormente por el primero, es movido por un motor a través de una biela, que produce sobre el émbolo un movimiento alternativo. El émbolo absorbe, comprime, y expulsa el gas a través de las válvulas de admisión y escape (figura 12), el funcionamiento es el siguiente:

La posición A) corresponde al momento en que el pistón alcanza su punto muerto superior. Cuando el pistón comienza su carrera descendente, el espacio dentro del cilindro se encuentra lleno de gas todavía a una presión ligeramente superior a la de descarga y en el transcurso de la carrera descendente, va disminuyendo la presión en el interior del cilindro, hasta que la tensión del resorte correspondiente cierra la válvula de escape, por lo cual, durante la primera parte de la carrera de expansión ambas válvulas están cerradas. Cuando el pistón alcanza el punto B), se abre la válvula de admisión, continúa su carrera descendente, con lo cual se aspira vapor, según un proceso esencialmente isobárico, hasta que se alcanza el punto muerto inferior, posición C).

Cuando el pistón inicia su carrera ascendente, se cierra la válvula de admisión, debido a un ligero incremento de la presión en el interior del cilindro sobre el valor de la presión de aspiración. A partir de este momento, con las dos válvulas cerradas, se inicia la compresión del gas posición C) según un proceso esencialmente adiabático, hasta alcanzarse la posición D).

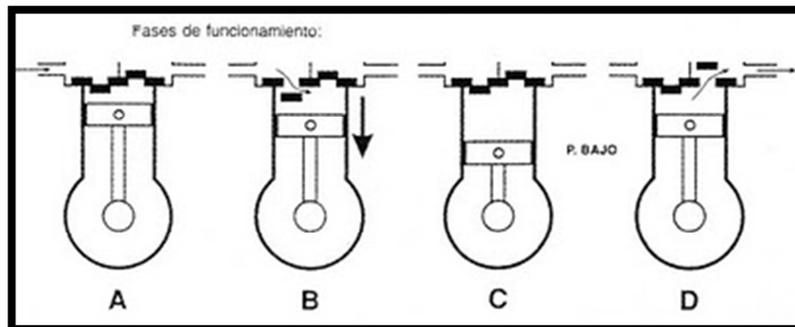


Figura 12 Tiempos de funcionamiento de un compresor alternativo.[8]

II.1.2.2 compresor rotativo

Los compresores rotativos pueden tener dos mecanismos de acción, con paletas o de excéntrica, también llamados de rodillo (figura 13). En los compresores de paletas y de rodillo, la compresión se produce por la disminución del volumen resultante entre la carcasa y el elemento rotativo, cuyo eje no coincide con el eje de la carcasa. En estos compresores rotativos no son obligatorias válvulas de admisión, ya que como el gas entra de forma incesante en el compresor la pulsación de gas es mínima.

El compresor de rodillo emplea como su propio nombre indica un rodillo cilíndrico de acero, que rota sobre una flecha excéntrica acoplada concéntricamente en un rodillo.

Debido a la excentricidad de la flecha, el anillo cilíndrico es excéntrico con el cilindro y toca la pared de éste en el punto de claro mínimo. Si rota la flecha, el rodillo se desliza alrededor de la pared del cilindro, en contacto con la pared y en el mismo sentido de la rotación de la flecha. Una hoja empujada por un resorte, montada en una ranura de la pared del cilindro, hace contacto fuertemente con el rodillo en todo momento. La hoja se mueve hacia dentro y hacia fuera del entalle del cilindro, siguiendo el rodillo conforme gira éste alrededor de la pared del cilindro.

En la figura 10 se muestra el trabajo realizado por fases de un compresor rotativo de rodillo.

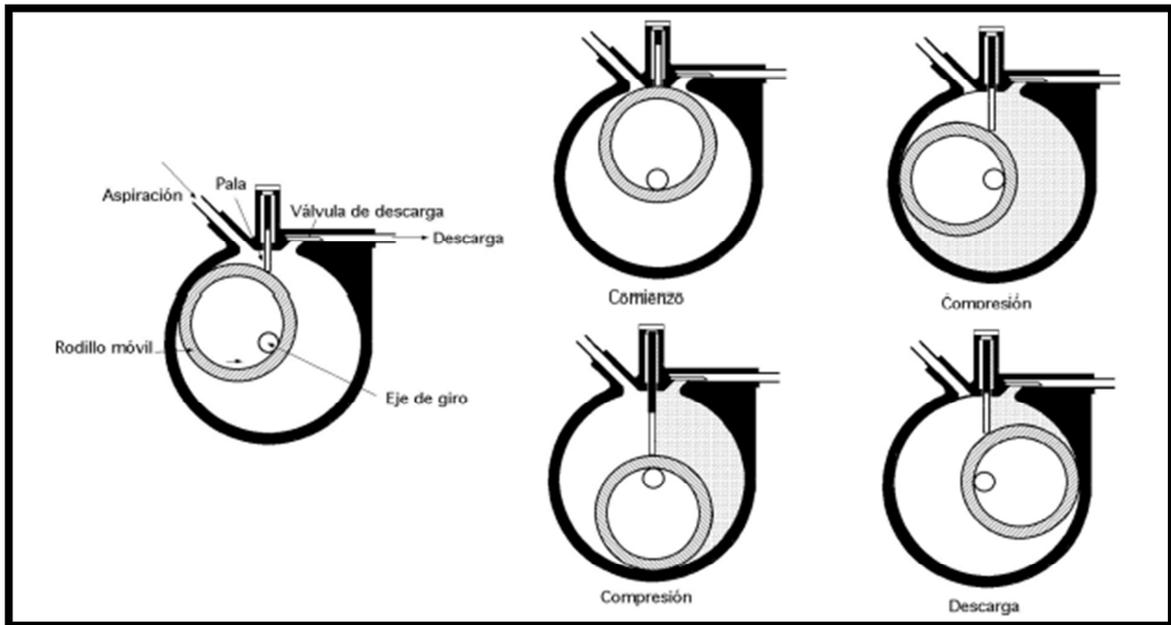


Figura 13 Tiempos de funcionamiento de un compresor rotativo. [13]

II.1.2.3 Compresor scroll

El compresor scroll (figura 14) tiene un rotor en forma de espiral excéntrica respecto al árbol motor, que rueda sobre la superficie del estator, que en lugar de ser circular tiene forma de espiral concéntrica con el eje motor.

La superficie de contacto entre ambas espirales se establece en el estator (en todas sus generatrices) y en el rotor también en todas sus generatrices. Como se puede comprobar, hay otra diferencia fundamental respecto a los compresores rotativos de paletas, y es la de que la espiral

móvil del rotor no gira solidariamente con este último, sino que sólo se traslada con él paralelamente a sí misma.

En cuanto al funcionamiento, este tipo de compresores se basa en que las celdas o cámaras de compresión de geometría variable y en forma de hoz, están generadas por dos caracoles o espirales idénticas, una de ellas, la superior que está fija (estator), en cuyo centro está situada la lumbrera de escape, y la otra orbitante (rotor), estando montadas ambas frente a frente, en contacto directo una contra la otra.

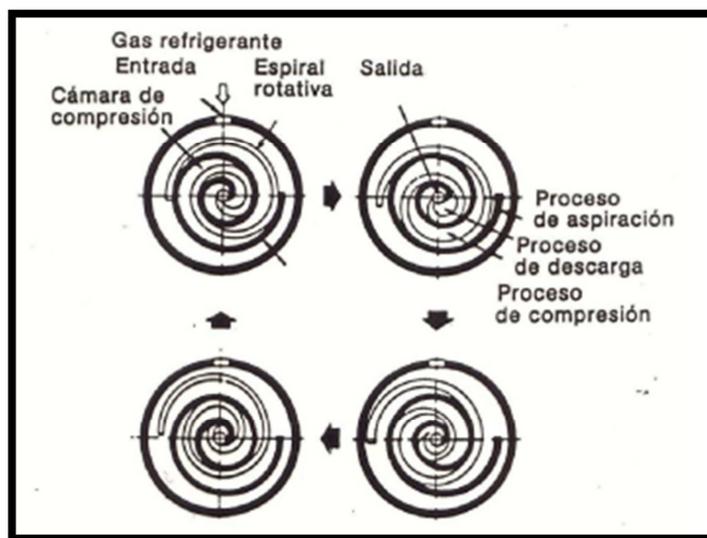


Figura 14 Principio de funcionamiento del compresor scroll. [13]

El funcionamiento se puede descomponer en las tres fases siguientes:

- ❖ Aspiración: En la primera órbita, en la parte exterior de las espirales se forman y llenan completamente de vapor a la presión P_1 dos celdas.
- ❖ Compresión: En la segunda órbita, se produce la compresión a medida que dichas celdas disminuyen de volumen y se acercan hacia el centro de la espiral fija, alcanzándose al final de la segunda órbita, cuando su volumen es V_2 y la presión de escape P_2 .
- ❖ Descarga: En la tercera y última órbita, puestas ambas celdas en comunicación con la lumbrera de escape, tiene lugar la descarga (escape) a través de ella.

II.1.2.4 compresor de tornillo

El compresor helicoidal de rotor único (figura 15) está constituido por un rotor conductor con seis cámaras de trabajo helicoidales, que acciona dos ruedas dentadas satélite que tienen once dientes cada una, de perfil idéntico al de las cámaras de trabajo, y situadas a ambos flancos del rotor conductor, la velocidad de las ruedas dentadas es $6/11$ de la del rotor principal.

La potencia de compresión se transfiere directamente desde el rotor principal al vapor; las ruedas dentadas no disponen de ningún tipo de energía, salvo rozamiento.

Es necesario que las holguras entre los perfiles en movimiento sean pequeñas, (las óptimas para cada tipo de máquina), con el fin de evitar fugas o filtraciones de vapor desde la cavidad de escape hacia regiones donde las presiones sean más bajas.

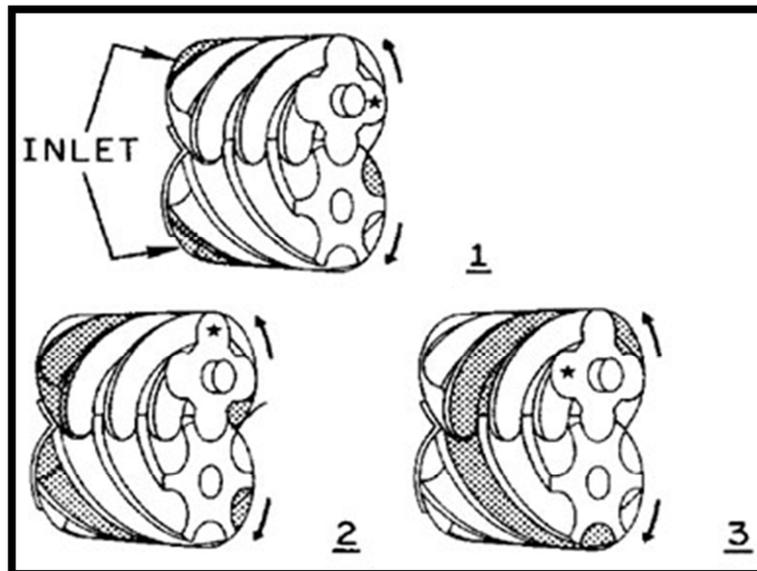


Figura 15 Principio de funcionamiento del compresor tornillo 1) aspiración, 2) compresión, 3) escape. [13]

El proceso de funcionamiento se puede descomponer en las fases siguientes:

- ❖ Aspiración: Con el rotor reclinado en una camisa cilíndrica, se tienen todas las cámaras de trabajo en comunicación con la cavidad de aspiración por uno de sus extremos. Un diente de una de las ruedas dentadas engrana con cada cámara, efectuándose la aspiración del vapor conforme se desplaza dentro de la cámara.
- ❖ Compresión: Al continuar la rotación, las cámaras una vez se han llenado completamente, se cierran y separan de la cavidad de aspiración mediante un diente perteneciente a la otra rueda dentada, reduciendo progresivamente su volumen, comprimiendo así el vapor.

- ❖ Escape: En un instante determinado, las cámaras de trabajo con volúmenes decrecientes y presiones crecientes, se pone en comunicación con la lumbrera de escape, cesando la compresión y produciéndose la expulsión del vapor hasta que el volumen V2 queda reducido a cero.

Los procesos llevados a cabo en el compresor se representa en el diagrama 2 mediante el segmento C → D. Este proceso tiene lugar, a lo largo de una línea llamada isoentrópica, que considera el comportamiento del compresor como ideal, resultando una buena aproximación.

Durante el proceso de compresión, el refrigerante aumenta su presión y como consecuencia, su temperatura, que puede llegar a ser del orden de 90 °C en la descarga del compresor.

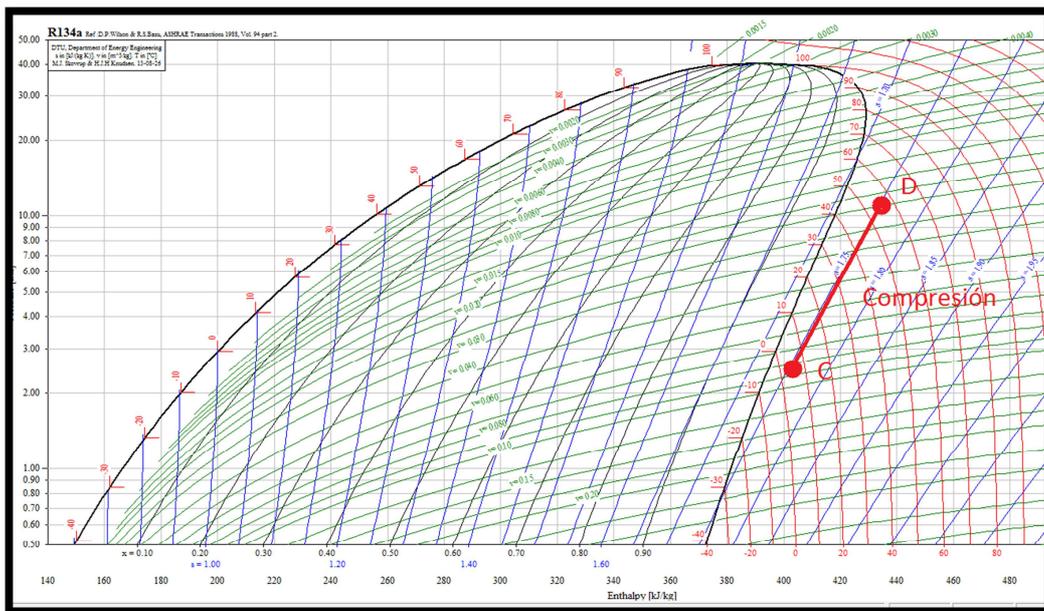


Diagrama 2 Proceso que se lleva a cabo en el compresor.

II.1.3 Condensador

El condensador es una superficie de transferencia de calor. El calor del refrigerante caliente pasa a través de las paredes del condensador para su condensación. Como resultado de su pérdida de calor hacia el medio condensante, el vapor refrigerante es primero enfriado hasta saturación y después condensado hasta su fase de estado líquido.

Los condensadores son de tres tipos:

- ❖ Enfriados con aire.
- ❖ Enfriados con agua.
- ❖ Evaporativos.

El tamaño del condensador es función de la cantidad de refrigerante que se comprima, dependiendo de ello la superficie del mismo, como intercambiador de calor, en el condensador se pierde el calor ganado en el evaporador liberando el calor latente del refrigerante al medio ambiente.

para transmitir al refrigerante el calor latente de la condensación. En el condensador se va a producir la eliminación de calor al medio exterior a través de un sistema de refrigeración.

El refrigerante, que llega al condensador, lo hace en estado de vapor, saturado o sobrecalentado, y posee una temperatura superior a la del medio de refrigeración que se va a utilizar en el condensador, generalmente aire o agua, por lo que el fluido refrigerante, a la temperatura del medio exterior, absorberá el calor latente del refrigerante, provocando su condensación, el cual, una vez licuado y en muchos casos, refrigerado en contracorriente con vapor del evaporador, pasa a la válvula de estrangulamiento, que lo lamina y expansiona, para volver de nuevo al evaporador, e iniciar un nuevo ciclo.

II.1.3.1 condensador evaporativo

Los condensadores evaporativos (figura 16) emplean tanto aire como agua. Aun cuando se tiene algún aumento de la temperatura del aire que está pasando a través del condensador, la condensación del refrigerante en el condensador se efectúa principalmente por la evaporación del agua rociada o atomizada sobre el condensador, la función del aire es aumentar la razón de evaporación sacando el vapor de agua que resulta del proceso de evaporación.

II.1.3.2 condensador refrigerado(enfriados con aire o agua)

Los evaporadores enfriados con aire (figura 17), emplean al aire como medio condensante, mientras que los condensadores enfriados con agua, emplean agua para condensar el refrigerante. Para ambos condensadores enfriados con aire y enfriados con agua, la diferencia de temperatura

entre el vapor de refrigerante caliente que está atravesando los tubos y el aire libre más fresco induce a la transferencia de calor.

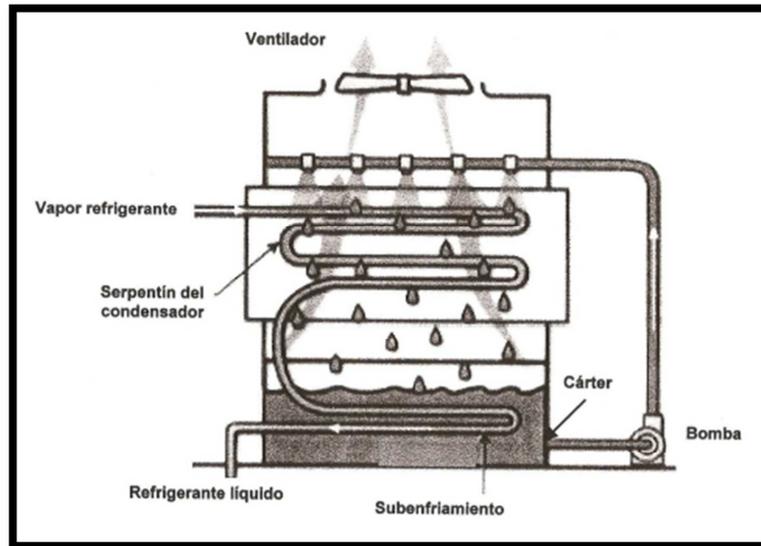


Figura 16 Partes y funcionamiento de un condensador evaporativo. [14]

II.1.3.2 condensador refrigerado (enfriados con aire o agua)

Los evaporadores enfriados con aire (figura 17), emplean al aire como medio condensante, mientras que los condensadores enfriados con agua, emplean agua para condensar el refrigerante. Para ambos condensadores enfriados con aire y enfriados con agua, la diferencia de temperatura entre el vapor de refrigerante caliente que está atravesando los tubos y el aire libre más fresco induce a la transferencia de calor.

La reducción en el contenido de calor en el vapor refrigerante lo hace condensar hasta su estado líquido.

Los procesos que tienen lugar en el condensador se representan en el diagrama 3 por la línea D → F, y ocurren a lo largo de una línea de presión constante.

En el Punto D se recibe el refrigerante del compresor como vapor sobrecalentado, a alta presión y alta temperatura.

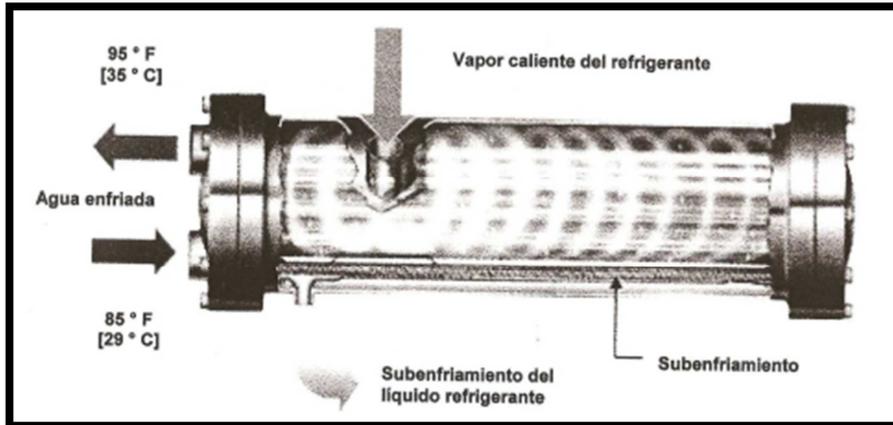


Figura 17 Partes y funcionamiento de un condensador refrigerado. [14]

En el primer tramo del condensador (D → E), el vapor se enfría, cediendo calor sensible al medio condensante, perdiendo temperatura, pero permaneciendo en estado vapor.

En el Punto E, se alcanza la temperatura de rocío del refrigerante a la presión de condensación. A partir de ese instante el vapor refrigerante cede calor latente al medio condensante, condensándose (E → F) y volviéndose líquido. A medida que avanza en el condensador aumenta la proporción de líquido y disminuye la de vapor. Es importante hacer notar que durante la condensación de fluidos puros, la temperatura permanece constante.

En el Punto F termina el proceso de condensación, porque todo el refrigerante ha pasado a líquido. Ocurre que, a estas alturas el líquido refrigerante todavía está más caliente que el medio condensante, por lo que todavía se puede enfriar un poco más.

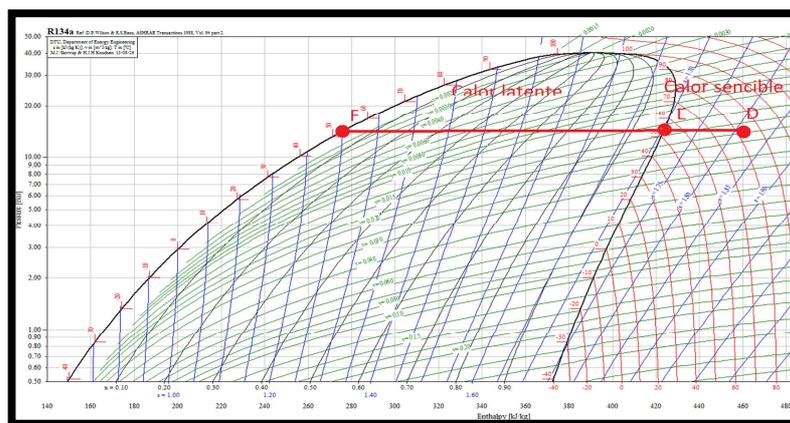


Diagrama 3 Proceso que se lleva a cabo en el evaporador.

II.1.4 Dispositivos de estrangulamiento

La misión de los elementos de estrangulamiento es controlar el paso de refrigerante a baja presión hacia el evaporador, y mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.

Los diferentes tipos de elementos de expansión son:

- ❖ Tubo capilar.
- ❖ Restrictores fijos.
- ❖ Válvula de expansión manual.
- ❖ Válvula de expansión termostática.
- ❖ Válvula de expansión automática o presostática.
- ❖ Válvula de flotador de alta presión.
- ❖ Válvula de flotador de baja presión.
- ❖ Válvula electrónica.
- ❖ Válvula pilotada y válvula piloto.

En estos elementos se produce un cambio de la presión del fluido mediante una transformación isoentálpica, desde la alta presión y temperaturas existentes en el condensador, a la baja presión y temperaturas requeridas en el evaporador.

Al disminuir la presión y la temperatura del fluido, cuando éste atraviesa una válvula de estrangulamiento, se reduce la entalpía específica del líquido, lo que requiere que parte de él vaporice, absorbiendo en esta evaporación parcial el calor sobrante, esto es la diferencia entre las entalpías específicas del líquido antes y después de la válvula. Además de la misión principal de reducir la presión y la temperatura del fluido, en la mayoría de las ocasiones la válvula de estrangulamiento cumple otra misión secundaria, que es regular el caudal del refrigerante que pasa al evaporador, en función de diversas variables, lo que da lugar a distintos tipos de válvulas.

II.1.4.1 Tubo capilar

El tubo capilar es uno de los dispositivos de estrangulamiento más utilizados en los sistemas frigoríficos que trabajan en ciclo de compresión de vapor. Empleado en todas las

aplicaciones domésticas y en un algunas aplicaciones comerciales, es de fácil montaje y económico.

Los tubos capilares, son los restrictores más utilizados como válvulas de flujo laminar de refrigerante. Un tubo capilar consiste en un tubo de pequeño diámetro, de longitud adecuado al sistema en que se utilizará, por el tubo capilar circula el refrigerante a alta velocidad, produciéndose la expansión brusca del refrigerante al terminar dicho tubo por la diferencia de volumen entre capilar y evaporador. Aunque el uso de tubos capilares está muy extendido, este tipo de válvulas de flujo laminar de refrigerante, no permite la regulación automática del flujo del refrigerante, por lo que en aquellas instalaciones frigoríficas en que se prevean unas variaciones sensibles de la carga térmica no deberán emplearse.

Los tubos capilares se emplean en instalaciones pequeñas debido a que presentan las ventajas siguientes:

- ❖ Facilidad de instalación.
- ❖ Fiabilidad, no hay piezas en movimiento.
- ❖ Bajo costo.
- ❖ Permiten utilizar compresores con bajo par de arranque por el buen equilibrio de presiones.

La selección del capilar se basa en el método práctico de la "prueba y error", es decir, en el ensayo de distintos capilares para determinar él que ofrece mejores prestaciones. Aún en el caso de disponer de modelos simplificados de cálculo, el ajuste final para una aplicación dada debe hacerse mediante ensayos prácticos en laboratorio, existiendo tablas para seleccionar el tubo capilar dependiendo de la capacidad del compresor.

II.1.4.2Válvula de expansión manual

Estas válvulas presentan grandes inconvenientes por la necesidad de que un operario esté siempre dispuesto a actuar sobre ellas, a fin de regular el paso del refrigerante; presentan asimismo graves dificultades en la regulación, por lo que este tipo de válvula está totalmente en desuso en la actualidad.

II.1.4.3 Válvula de expansión Automática o Presostática

Este tipo de válvula reacciona a las variaciones de presión en el evaporador, asegurando una presión constante en el mismo. El funcionamiento de esta válvula, está basado en el mantenimiento de la presión de evaporación en un valor constante, regulando el flujo del refrigerante para conseguir dicha constante. La presión de evaporación se puede variar, como se muestra en la figura 18, mediante la modificación de la tensión del resorte R por medio de un tornillo T de regulación; dicha tensión se transmite a un diafragma D, a través de un sistema mecánico en contacto con él M, que transmite el movimiento a una aguja A, que obtura más o menos el paso de líquido procedente del condensador, produciéndose el estrangulamiento al pasar dicho líquido, a través del espacio libre dejado por la aguja, al cuerpo de la válvula.

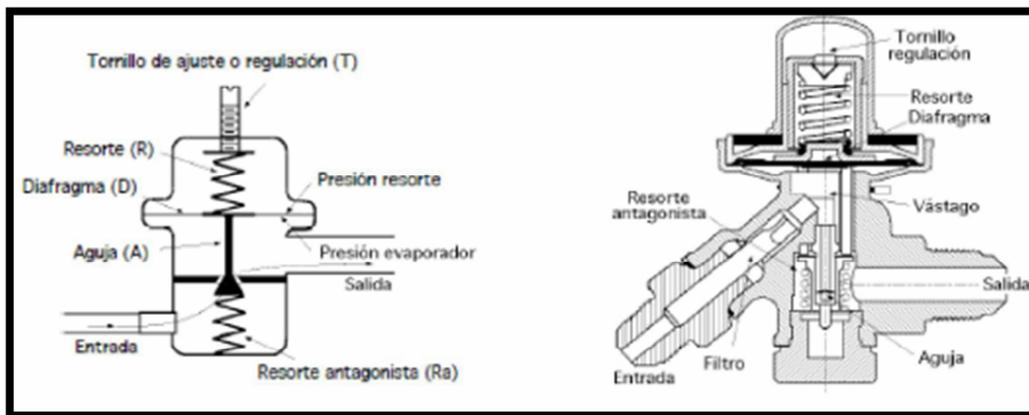


Figura 18 Válvulas de expansión automática presostática.

II.1.4.4 Válvula de expansión Termostática

Esta válvula reacciona a las variaciones del grado de calentamiento del refrigerante, vapor saturado o recalentado, que sale del evaporador. La válvula de expansión termostática o válvula de termostática (figura 19), es un dispositivo de medición diseñado para regular el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador, en la misma proporción en que el refrigerante líquido dentro del evaporador se va evaporando. Esto lo logra manteniendo un sobrecalentamiento predeterminado a la salida del evaporador (línea de succión), lo que asegura que todo el refrigerante líquido se evapore dentro del evaporador, y que solamente regrese al compresor el refrigerante en estado gaseoso. La cantidad de gas refrigerante que sale del evaporador puede regularse, puesto que la válvula termostática responde a:

- ❖ La temperatura del gas a la salida del evaporador.
- ❖ La presión del evaporador.

En conclusión, las principales funciones de una válvula de termo expansión son:

- ❖ Alimentar líquido hacia el evaporador, según la demanda de la carga, y mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.
- ❖ Las partes principales de una válvula de termo expansión son: el bulbo remoto, el diafragma, las varillas de empuje, el asiento, la aguja, el resorte, la guía del resorte y el vástago de ajuste.

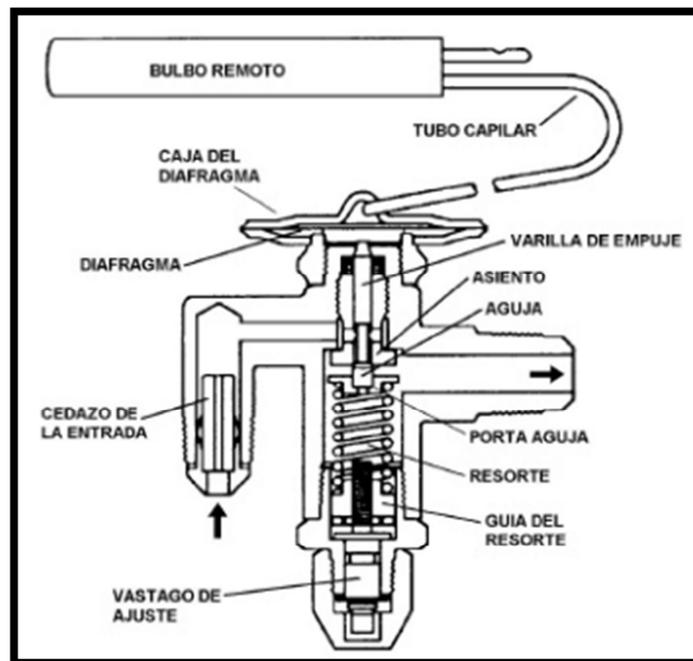


Figura 19 Partes de una válvula termostática.

En el dispositivo de expansión el refrigerante pasa desde la presión del condensador hasta la presión del evaporador, a través de un proceso llamado laminación isoentálpica, representado en el diagrama de Mollier (diagrama 4) como un segmento de recta vertical, desde el punto F hasta el Punto A.

El estrangulamiento isoentálpica consiste en hacer pasar el refrigerante a través de un orificio que provoque pérdida de presión, como el orificio estrecho de una válvula o un tubo largo y de muy pequeño diámetro como el tubo capilar. Durante este proceso la entalpía

del fluido permanece constante, y la presión y temperatura del fluido disminuyen, como consecuencia de la formación de una pequeña fracción de vapor refrigerante.

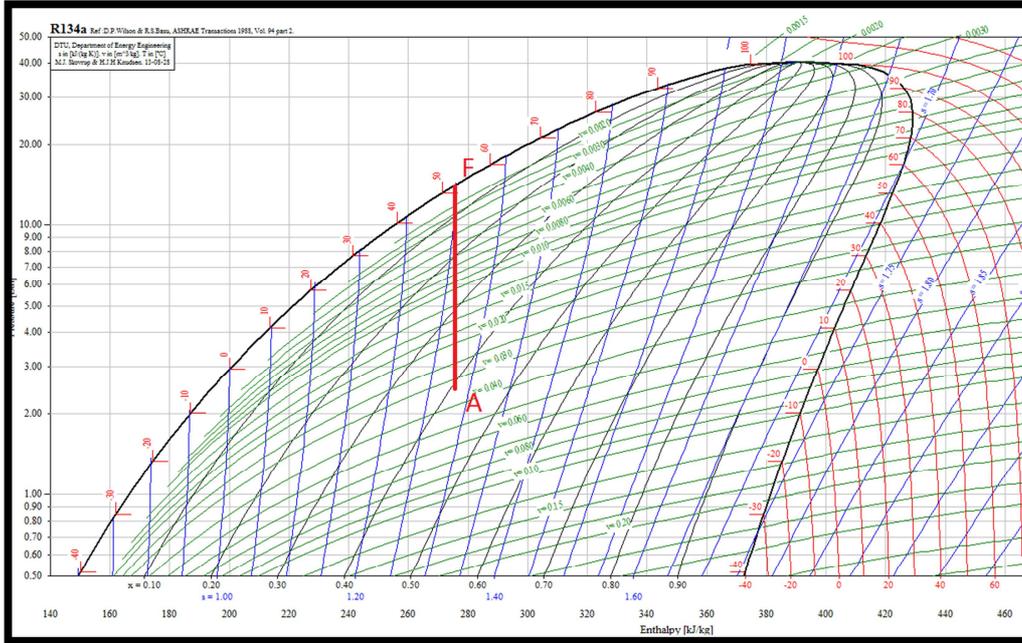


Diagrama 4 Proceso que se lleva a cabo en la válvula de expansión.

II.1.5 Diagrama de mollier de un ciclo de Refrigeración

Ciclo de refrigeración completo al explicar los diferentes tipos de componentes básicos para un ciclo de refrigeración y explicando que proceso hace cada componente en el diagrama de Mollier, el diagrama de Mollier de un ciclo de refrigeración completo queda así:

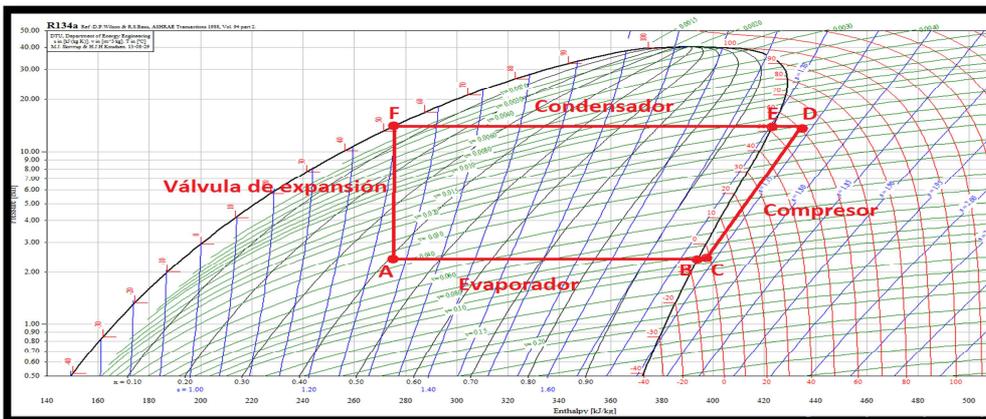


Diagrama 5 Proceso que se lleva a cabo en todo el ciclo de refrigeración.

En el diagrama 5 se observa el proceso que interviene en cada uno de los componentes básicos del ciclo de refrigeración. Los cuales se realizan en 5 etapas:

- ❖ Del punto A al B se extrae el calor del producto o del espacio a refrigerador para lo cual el refrigerante aumenta su entalpía a presión constante y pasa de líquido a vapor saturado.
- ❖ Del punto B al C se sobrecalienta para garantizar de que al compresor llegue solo vapor y nada de líquido
- ❖ Del punto C al D se comprime el refrigerante a entropía constante al hacer este proceso y con la energía que se le suministra al comprimir el refrigerante se sobrecalienta para garantizar el intercambio de calor con el medio ambiente y cambia de presión.
- ❖ Del punto D al E se extrae calor sensible para dejarlo en vapor saturado a presión constante.
- ❖ Del punto E al F se extrae calor latente a presión constante para llevar de vapor saturado a líquido saturado.
- ❖ Del punto F al A se expande el refrigerante y se lleva a un líquido laminar esto es para bajar la presión del fluido a entalpía constante.

II.2 Aceites para refrigeración

Los aceites sintéticos, son lubricantes que se podría decir que están "hechos a la medida", ya que los componentes pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades de una aplicación particular. En el caso de los aceites sintéticos para refrigeración, estos componentes se fabrican enfatizando las propiedades de miscibilidad con los refrigerantes, resistencia a bajas y a altas temperaturas, excelente poder lubricante, 100% libres de cera.

Existen varios tipos de aceites sintéticos, pero los que mejor resultado dan en refrigeración son los de polialquilenglicol (PAG) y los de polioliéster (POE).

El aceite para refrigeración es necesario para una operación adecuada del compresor, en un sistema de refrigeración mecánica. Además de lubricar las partes móviles del compresor, el aceite realiza las siguientes funciones:

- ❖ Remueve el calor de los cojinetes y lo transfiere al exterior.
- ❖ Ayuda a formar un sello más positivo, cuando están cerradas las válvulas de succión y descarga.

- ❖ Amortigua el ruido generado por las partes móviles dentro del compresor.

Un buen aceite para refrigeración debe reunir las cualidades que a continuación se enlistan.

- ❖ Mantener su viscosidad a altas temperaturas.
- ❖ Mantener buena fluidez a bajas temperaturas.
- ❖ Ser miscible con los refrigerantes a las temperaturas de trabajo.
- ❖ Tener buena (alta) capacidad dieléctrica.
- ❖ No tener materia en suspensión.
- ❖ No debe contener ácidos corrosivos o compuestos de azufre.
- ❖ No formar depósitos de cera (flóculos) a las bajas temperaturas del sistema.
- ❖ No dejar depósitos de carbón al entrar en contacto con superficies calientes dentro del sistema.
- ❖ No contener humedad.
- ❖ No formar espuma.
- ❖ Ser química y térmicamente estable en presencia de refrigerantes, metales, aislamientos, empaques, oxígeno, humedad y otros contaminantes.

Tal aceite para refrigeración sería perfecto para todos los sistemas, pero no existe. Por lo tanto, se seleccionará el aceite que más se acerque a estas propiedades y que cubra las necesidades específicas del sistema.

II.3 Refrigerantes

De manera general, un refrigerante es cualquier sustancia de baja temperatura de ebullición que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo pierde al condensarse a alta temperatura y presión.

Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia compresible que podamos cambiar de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente.

Existe un número muy grande de fluidos refrigerantes fácilmente licuables; sin embargo, sólo unos cuantos son utilizados en la actualidad. Algunos se utilizaron mucho en el pasado, pero se eliminaron al incursionar otros con ciertas ventajas y características que los hacen más apropiados. Recientemente, se decidió discontinuar algunos de esos refrigerantes antes del año 2000, tales como el R-11, R-12, R-113, R-115, etc., debido al deterioro que causan a la capa de ozono en la estratósfera.

En su lugar, utilizan otros refrigerantes como el R-123, el R-134a y algunas mezclas ternarias. Los grandes fabricantes de refrigerantes, siguen trabajando en el desarrollo de nuevos productos.

En la siguiente tabla se muestra una gran variedad de refrigerantes así como la el número de identificación de cada refrigerante según la norma ASHRAE.

No.	Nombre químico	Formula química
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)	

Tabla 1 Designación de números a los principales refrigerantes (el número entre paréntesis representa el porcentaje de cada componente). [15]

II.4 Accesorios

Existen diversos accesorios que sirven para prevención, mantenimiento o mejor funcionamiento del ciclo de refrigeración, de los componentes más utilizados son mirillas, filtros deshidratadores, válvulas de paso y manómetros en la siguiente tabla se enlistan algunos de estos accesorios:

Accesorio	Función
Válvula de expansión termostática	Regula la inyección de líquidos en evaporadores
Válvulas de solenoide	Se accionan electromagnéticamente para abrir o cerrar el paso
Presos tato	Cierran o abren un circuito eléctrico en función a la presión
Presostato diferencial de aceite	Protegen al compresor contra una presión insuficiente de aceite de lubricación
Termostatos	Cierran o abren un circuito eléctrico en función a la temperatura
Reguladores de presión de evaporación	Mantienen constante la presión de evaporador
Reguladores de presión de aspiración	Protegen al compresor de sobrecargas al arranque
Regulador de presión de condensación	Mantienen constante la presión de condensador
Válvula de presión diferencial	Asegura una presión suficiente en el recipiente
Reguladores de presión del recipiente	Mantiene la presión del recipiente
Filtros secadores	Eliminan la humedad, los ácidos y las impurezas
Visores	Indican el estado del refrigerante
Válvulas de cierre	Para cierre manual

Tabla 2 Diferentes tipos de accesorios para refrigeración.[15]

Presostatos.- El presostato actúa en función de la presión, tanto en la parte de alta como de baja presión; existe un modelo de presostato combinado de alta y baja presión que realiza funciones de control de la presión de baja y de la presión de alta con un solo interruptor, accionado por dos sistemas de fuelles, llevando escalas indicadoras de las presiones de regulación, tanto de alta, como de baja y diferencial.

Termostato bimetálico.- El termostato bimetálico, está compuesto por dos láminas metálicas de diferente coeficiente de dilatación; los dos metales están soldados o laminados juntos, de forma que al someterlos a una misma temperatura, se dilatan desigualmente, provocando una deformación del conjunto, proporcional a la temperatura a que han sido expuestos.

Termostato con bulbo y capilar.- El bulbo es el elemento sensible, que contiene un gas dilatante que actúa en función de las variaciones de temperatura, y va conectado mediante un tubo capilar a un fuelle, que al acusar las diferencias de presión causadas por las variaciones de temperatura, acciona un interruptor que cierra o abre el circuito.

Filtros secadores.- Mientras que algunos tipos de refrigerantes reaccionan con la humedad existente en el circuito, con grandes inconvenientes para el sistema, otros no se ven afectados por tales circunstancias, pero la humedad que se va acumulando reduce la efectividad de la máquina, por lo que tanto en el caso de utilizar unos u otros tipos de refrigerantes, se hace necesaria la utilización de secadores. Los secadores más utilizados y eficaces son los de tipo desmontable, a base de cloruro de calcio, silicagel, que se pueden emplear con cualquier tipo de refrigerante.

Los cartuchos secadores precisan ser renovados de acuerdo con las exigencias del sistema en que se encuentren instalados, ya que todo depende de la humedad, variable en cada caso, y del tipo de desecador empleado, pues mientras que el cloruro de calcio se hace pernicioso para el sistema cuando se ha saturado de humedad, el silicagel y el tamiz molecular pueden permanecer en el sistema indefinidamente.

Existen en el mercado elementos que hacen una triple función, ya que actúan como filtro de partículas, como deshidratadores y como absorbedoras de ácidos, y se utilizan en instalaciones frigoríficas de gran capacidad. Construidos en acero con cabeza atornillable, permiten el alojamiento de cartuchos fácilmente recambiables.

El filtro secador realiza dos funciones:

- ❖ Filtrar el refrigerante mediante dos filtros, uno de los cuales es fino y el otro grueso.
- ❖ Secar o deshidratar, mediante un componente activo que retiene la humedad.

II.5 Control en sistemas de refrigeración

Existen gran cantidad de variables que se pueden controlar en un sistema de refrigeración, por mencionar algunas se pueden enlistar las siguientes:

- ❖ Las presiones de alta y de baja.
- ❖ Los caudales a las entradas de los serpentines.
- ❖ La temperatura al interior al espacio a refrigerar.
- ❖ El arranque y paro de bombeo de refrigerante.
- ❖ Temperaturas en el evaporador o en el condensador.

En los sistemas de enfriamiento de algún proceso en la industria las variables antes mencionadas son controladas, dependiendo el proceso, es muy importante controlar algunas o todas estas

variables, un ejemplo de estos procesos es en el secado del jabón en polvo ya que si no se extrae la humedad al elaborar el jabón este se humedece y se vuelve una pasta que es inservible para el producto final para ello se controla la temperatura del evaporador y el caudal a la entrada del evaporador, así como la temperatura en el espacio donde se encuentra el producto.

El control de todas las variables hace que el sistema de refrigeración sea más eficiente pero también lo hace más costoso.

En los sistemas de refrigeración doméstico no requiere el control de todas las variables por el tiempo que permanecen los productos en el interior del espacio refrigerado, por lo tanto solo se controla la variable de temperatura al interior del espacio refrigerado.

Para controlar la temperatura lo hacen por medio de un control on/off el cual controla el arranque y paro del compresor que se retroalimenta por el termostato que sensa la temperatura al interior del espacio refrigerado, el termostato es un sensor poco exacto, difícil de calibrar y poco sensible.

Al utilizar el termostato como sensor de temperatura, este sensor hace que el sistema sea relativamente lento en los arranques y los paros, es esta razón el uso del control on/off, aunque se cambie el tipo de control el sensor tardaría en dar la retroalimentación y dar la señal de arranque y paro del compresor.

En la actualidad se están haciendo estudios experimentales cambiando el control on/off por un controlador continuo (PID), los resultados experimentales obtenidos revelan mayores ahorros energéticos, pero la implementación de este control resulta caro, este control sería rentable para equipos de gran tamaño donde los costos de operación son considerables.[16].

CAPÍTULO III

DISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS

Resumen del capítulo

En este capítulo se detalla el cálculo de la longitud de evaporadores, evaporadores y potencia de los compresores a utilizar en esta tesis, se muestra a detalle la elaboración de la etapa de control de los tres ciclos de refrigeración por compresión de vapor independientes, así como la elaboración del mallado para sensar la distribución de calor, por último se detalla las etapas de ensamblaje del banco de pruebas obteniendo el COP teórico del banco de pruebas.

III.1 Calculo de cargas térmicas

La carga de calor de 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.

Las principales fuentes de calor son:

1. Calor que pasa del exterior al espacio refrigerado por conducción a través de paredes no aisladas.
2. Calor que pasa al espacio interior debido al espacio exterior caliente el cual pasa a través de puertas que se abren y a través de rendijas que se tienen alrededor de puertas.
3. Calor cedido por el producto caliente a medida que su temperatura es bajada hasta el nivel deseado.
4. Calor cedido por cualquier equipo productor de calor localizado dentro del espacio, tales como alumbrado, ventiladores y motores eléctricos.

III.1.1 Ganancia por cargas de paredes

Las ganancias de carga de paredes, también llamadas cargas de fuga, es una medición del calor que fluye por conducción a través de las paredes del espacio refrigerado del exterior al interior. Ya que no se dispone de un aislamiento perfecto, siempre se tendrá una cierta cantidad de calor que está pasando del exterior al interior.

La cantidad de calor transmitida en la unidad de tiempo a través de las paredes de un espacio refrigerado es función de tres factores cuya relación se expresa a través de de la siguiente ecuación:

$$Q = (A)(U)(D_1) \quad (1)$$

El coeficiente de transmisión "U" es una medida de la rapidez a la cual fluye calor a través de una área de superficie de pared de 1 pie^2 entre el aire de un lado el el aire de otro lado por cada 1 grado F de diferencia de temperatura a través de la pared. Depende del espesor de la pared y de los materiales que se utilizan en la construcción de la misma.

Los coeficientes de transmisión de calor "U" ya han sido calculados para varios tipos de materiales y estos valores se obtienen de la tabla 4

Material	Conductividad Térmica W/m*k
Acero	47-58
Agua	0,58
Aire	0,02
Alcohol	0,16
Alpaca	29,1
Aluminio	209,3
Amianto	0,04
Bronce	116-186
Cinc	106-140
Cobre	372,1-385,2
Corcho	0,04-0,30
Estaño	64,0
Fibra de Vidrio	0,03-0,07
Glicerina	0,29
Hierro	1,7
Ladrillo	0,80
Ladrillo Refractario	0,47-1,05
Latón	81-116
Litio	301,2
Madera	0,13
Mercurio	83,7
Mica	0,35
Níquel	52,3
Oro	308,2
Parafina	0,21
Plata	406,1-418,7

Plomo	35,0
Vidrio	0,6-1,0

Tabla 3 Conductividad térmica para varios materiales.

para cualquier material homogéneo se puede obtener el valor de la conductancia térmica para cualquier espesor de material al dividir el factor k entre el espesor del material en pulgadas, entonces para el material homogéneo.

$$C = \frac{k}{x} \quad (2)$$

Donde x = espesor del material en pulgadas.

Cuando una pared está construida de varias capas de diferentes materiales, la resistencia térmica total de la pared es la suma de la resistencia de los diferentes materiales de que está construida la pared, incluyéndose las películas de aire, por lo tanto.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}} \quad (3)$$

La diferencial de temperatura "D" a través de la pared de un almacén frío por lo general se considera que es la diferencia entre la temperatura exterior con la temperatura deseada al interior del almacén generalmente depende del producto almacenado y del periodo del tiempo que el producto estará almacenado.

$$D = T_e - T_i \quad (4)$$

El área "A" es el área total de la pared en la parte exterior del espacio a refrigerar.

III.1.2 La carga del producto

La carga del producto la constituye el calor que debe ser eliminado del producto refrigerado a fin de que la temperatura del mismo baje hasta el nivel deseado.

Esta carga representa el mayor porcentaje de la carga total pero una vez que el producto haya sido enfriado hasta la temperatura del almacén, este ya no será fuente de calor y la carga del producto dejará de formar parte de la carga del equipo. Una excepción de esto es el almacenaje de frutas y verduras los cuales ceden calor de respiración durante todo el tiempo que estén almacenados a

una temperatura superior a la temperatura de congelamiento, aun cuando no se tenga ninguna disminución de su temperatura.

Cuando el producto entra al espacio de almacenamiento a temperatura mayor que a la que se tiene dentro del espacio, el producto cederá calor al espacio hasta que este se enfríe a la temperatura que se tiene en el espacio.

El calor ganado en el espacio, que proviene del producto se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_2 = (m)(c)(\Delta T) \quad (5)$$

En la ecuación (5) no se involucra el tiempo y el resultado obtenido es solo la cantidad de calor que cede el producto para enfriarse hasta la temperatura que se tiene en el espacio refrigerado, la carga equivalente del producto para un periodo de 24 horas, se calcula dividiendo la cantidad de calor por el tiempo de enfriamiento deseado para el producto a fin de obtener la razón de enfriamiento horaria y después multiplicar el resultado por 24 horas.

Por lo tanto la ecuación (5) queda como sigue:

$$Q = \frac{(m)(c)(\Delta T)(24)}{t_D} \quad (6)$$

III.1.3 La carga por cambio de aire

Al abrirse la puerta de un espacio refrigerado el aire caliente del exterior entra al espacio para remplazar al aire frío más denso, esto constituye una pérdida en el espacio refrigerado. El calor que debe ser eliminado por este aire caliente del exterior para reducirle la temperatura y contenido de humedad a las condiciones de diseño del espacio, constituye una parte de la carga del enfriamiento total del equipo.

A la relación entre la carga por cambio de aire a la carga total de enfriamiento, varía para cada caso según sea el uso del espacio refrigerado.

La ganancia de calor en el espacio refrigerado como resultado de los cambios de aire es difícil de calcular con exactitud, por eso se realiza una estimación por medio de tablas dependiendo del uso, de la humedad relativa, temperatura exterior y temperatura interior el espacio refrigerado y puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$cca = V_i * fca * ca \quad (7)$$

volumen pies cúbicos	cambio de aire por 24 horas
250	38
300	34.5
400	29.5
500	26
600	23
800	20
1000	17.5
1500	14
2000	12
3000	9.5
4000	8.2
5000	7.2
6000	6.5
8000	5.5
10000	4.9
15000	3.9
20000	3.5
25000	3
30000	2.7
40000	2.3
50000	2
75000	1.6
100000	1.4

Tabla 4 Promedios de los cambios de aire dependiendo del volumen a refrigerar.

La carga total de enfriamiento es la suma de todas las cargas anteriores.

III.2 Diseño de evaporador

Debido a que los evaporadores de tubo descubierto son los más usados en ciclos de refrigeración pequeños, en almacenes de enfriamiento en donde se circula aire a velocidad baja y son fáciles de manufacturar pues no requiere de aletas ni ventiladores se determina diseñar este tipo de evaporador.

La capacidad de asimilar calor en el evaporador, es la razón por la cual pasa el calor (del producto a refrigerar) a través de las paredes del evaporador hacia el líquido refrigerante y este generalmente se expresa en BTU por hora. El evaporador debe tener suficiente capacidad de

transferencia de calor para permitir la evaporización del refrigerante, para absorber el calor con la rapidez necesaria, para producir el enfriamiento requerido cuando está trabajando en condiciones de diseño.

Independientemente de cómo llegue el calor a la superficie exterior del evaporador, este debe pasar por conducción al refrigerante a través de las paredes del evaporador. Por lo tanto, la capacidad del evaporador, se obtiene por los mismos factores que gobiernan la razón de flujo de calor por conducción a través de cualquier superficie de transferencia de calor y es expresada por la ecuación.

$$Q_4 = (A_2)(U_2)(D_2) \quad (8)$$

III.2.1 Área de la superficie exterior del evaporador

En la ecuación 8 se indica que la capacidad de un evaporador varía directamente con el área de la superficie exterior. Esto será cierto solo para el caso en el que no se varíe el factor U del evaporador y la DTML.

Para manufacturar el evaporador de tubo descubierto es necesario saber la carga de calor que necesita desplazar, el material del que se construirá y el refrigerante a utilizar y con la ecuación del área del cilindro se obtiene la superficie del evaporador.

$$A_2 = 2\pi * r_t * l_e \quad (9)$$

III.2.2 Diferencia media logarítmica de temperatura

La temperatura del aire disminuye en forma progresiva a medida que el aire pasa a través del serpentín de enfriamiento. Se supone que la caída de temperatura ocurre a razón constante a medida que el aire pasa a través del serpentín al punto medio de esa línea representa la temperatura media del aire. Sin embargo, en la práctica la caída de temperatura es mayor en el paso de la primera hilera del serpentín, esto es debido a que es mayor la diferencia de temperatura.

La DTML real es determinada a partir de la siguiente ecuación, en la cual, se toma en cuenta la temperatura media real del aire:

$$D_2 = \frac{(T_e - T_r) + (T_i - T_{r2})}{\ln \frac{T_e - T_r}{T_i - T_{r2}}} \quad (10)$$

III. 3 Calculo de potencia del compresor

El cálculo de la potencia del motor se hace de acuerdo al volumen a refrigerar para determinar la potencia necesaria.

III.3.1 Gasto Volumétrico

El gasto volumétrico de un compresor reciproco es el volumen total de barrido en el cilindro por el pistón por un cierto intervalo de tiempo, generalmente se expresa en pies cúbicos por minuto. Para un compresor reciproco de acción simple, el gasto volumétrico se calcula como sigue:

$$V_p = vdr * v \quad (11)$$

III.3.2 Capacidad teórica del refrigerante

La capacidad teórica del refrigerante de cualquier compresor depende de las condiciones de operación del sistema y la capacidad del líquido refrigerante que circula por unidad de tiempo en el sistema y por el efecto refrigerante por unidad de masa circulada.

La razón de flujo de masa producida por el compresor es igual a la masa del vapor en la succión del compresor que admite a la entrada de la succión por unidad de tiempo. El flujo de masa se obtiene dividiendo el desplazamiento del pistón por el volumen específico del vapor de la succión o sea:

$$\dot{m} = \frac{V_p}{v} \quad (12)$$

III.3.3 Efecto refrigerante

Se le llama efecto refrigerante a la cantidad de calor que cada unidad de masa de refrigerante absorbe del espacio refrigerado, a medida que el refrigerante fluye a través del evaporador absorbe calor del espacio refrigerado, se incrementara la entalpia del refrigerante durante el

proceso. La cantidad de calor absorbida por el refrigerante en el evaporador es la diferencia de valor en la entalpía del refrigerante. Entonces:

$$q_e = h_{vs} - h_{ls} \quad (13)$$

III.3.4 Capacidad del sistema

La capacidad de cualquier sistema de refrigeración es la velocidad a la cual se puede efectuar la eliminación de calor del espacio refrigerado, la capacidad de refrigeración es en verdad la razón de transferencia de energía y como tal, es una expresión de potencia.

La capacidad de un sistema de refrigeración mecánica, es decir, la razón a la cual el sistema eliminara el calor del espacio refrigerado depende de dos factores: la masa del refrigerante que fluye por unidad de tiempo y el efecto refrigerante por unidad de masa que circula. Expresado como ecuación se tiene,

$$Q_4 = (\dot{m})(q_e) \quad (14)$$

III.4 Diseño del condensador

Igual que en los evaporadores, el condensador es una superficie de transferencia de calor, el calor del vapor refrigerante caliente pasa a través de las paredes del condensador para su condensación. Como resultado de su pérdida de calor hacia el medio condensante.

III.4.1 Energía equivalente del trabajo de compresión

El calor total rechazado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador como la energía equivalente del trabajo de compresión. Cualquier sobrecalentamiento absorbido por el líquido refrigerante de la línea succión, también forma parte de la carga del condensador

La energía equivalente del trabajo de compresión varía con el diseño del compresor y es mayor para un compresor hermético con enfriamiento en la succión que para un compresor de tipo abierto, debido al calor adicional del motor.

La energía equivalente del trabajo de compresión puede estimarse multiplicando la capacidad del compresor por un factor apropiado obtenido de tablas 5.

temperatura evaporador (grados Fahrenheit)	temperatura del condensante (grados Fahrenheit)					
	90	100	110	120	130	140
-30	1.37	1.42	1.47			
-20	1.33	1.37	1.42	1.47		
-10	1.28	1.32	1.37	1.42	1.47	
0	1.24	1.28	1.32	1.37	1.42	1.47
10	1.21	1.24	1.28	1.32	1.37	1.42
20	1.17	1.2	1.24	1.28	1.32	1.37
30	1.14	1.17	1.2	1.24	1.28	1.32
40	1.12	1.15	1.17	1.2	1.24	1.28
50	1.09	1.12	1.14	1.17	1.2	1.24

Tabla 5 Factores de rechazo de calor.

$$eetc = (Q_4)(frc) \quad (15)$$

La cantidad de calor rechazado en el condensador por unidad de refrigerante varía con las condiciones de operación del sistema.

Debido a que la transferencia de calor a través de las paredes del condensador es por conducción, la capacidad del condensador es función de la ecuación fundamental de transferencia de calor:

$$Q_c = (A_c)(U_2)(D_3) \quad (16)$$

III.4.2 Área de la superficie exterior del condensador

Para manufacturar el condensador de tubo descubierto es necesario saber la carga de calor que necesita desplazar, el material del que se construirá y el refrigerante a utilizar y con la ecuación del área del cilindro se obtiene la superficie del condensador.

$$A_c = 2\pi * r_t * l_c \quad (17)$$

Obteniendo la longitud de la ecuación (17) se le suma la longitud del evaporador así se obtiene el total de longitud para manufacturar el condensador.

III.5 Cálculos

Carga total del sistema

Se supone un espacio refrigerado de 40 cm de ancho por 40 cm de largo por 40 cm de alto (datos tomados de un evaporador domestico) esto nos da un área superficial total de:

$$A = 64000 \text{ cm}^2 = 1.336 \text{ ft}^2 \quad (18)$$

Se determina el área superficial para calcular la carga de calor que se transfiere a través de las paredes al espacio a refrigerar.

La temperatura deseada al interior del espacio refrigerado se toma de cero grados centígrados o 32 grados Fahrenheit y sabiendo que la temperatura promedio pico en el distrito federal donde se realizara el experimento es de 86.9 grados Fahrenheit, sustituyendo estos datos en la ecuación (4) nos queda como:

$$D = t_e - t_i = 89.6 - 32 = 57.6 F \quad (19)$$

Considerando que al interior del espacio refrigerado así como al exterior no existe corrientes de aire por lo tanto el coeficiente de convección en estas condiciones es $f = 1.65 \frac{BTU \cdot in}{h \cdot ft^2 \cdot F}$, el espacio se manufactura con placas de acero de 0.0306 in de espesor con un valor de conductividad térmica de $58 \frac{BTU \cdot in}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ y se aísla con placas de unicel de 1 in de espesor con un valor de conductividad térmica de $0.2 \frac{BTU \cdot in}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ sustituyendo estos valores en la ecuacion (3) obtenemos un valor del factor U.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \frac{1}{f_o}} = \frac{1}{\frac{1}{1.65} + \frac{0.0306}{58} + \frac{1}{0.2} + \frac{1}{1.65}} = 0.16097 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot F} \quad (20)$$

Con los valores obtenidos en las ecuaciones (18), (19) y (20) se sustituyen en la ecuación (1) para obtener la carga de paredes.

$$Q = (A)(U)(D) = (1.336)(0.16097)(57.6) = 95.805 \frac{BTU}{h} \quad (21)$$

Las masas de los productos se estimaron para satisfacer las necesidades de una familia grande de 9 personas y con productos comunes que se tienen en un refrigerador.

Producto	Cantidad de masa (Sistema internacional)	Cantidad de masa (sistema ingles)	Calor especifico BTU/lb*F
manzanas	1 kg	2.204621 lb	calor especifico 0.89
aguacates	1 kg	2.204621 lb	calor especifico 0.91
uvas	1 kg	2.204621 lb	calor especifico 0.9
toronja	2 kg	4.409242 lb	calor especifico 0.91
limones	1 kg	2.204621 lb	calor especifico 0.91
naranja	2 kg	4.409242 lb	calor especifico 0.91
peras	1 kg	2.204621 lb	calor especifico 0.91

piña	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.9
frijoles	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.78
brócoli	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.9
calabaza	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.93
zanahorias	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.93
coliflor	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.9
maíz	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.86
pepino	1	kg	2.204621	lb	Calor específico	0.93
luechuga	0.5	kg	1.1023105	lb	calor específico	0.9
cebolla	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.91
papas	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.86
espinacas	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.92
tomates	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.92
tocino	0.25	kg	0.55115525	lb	calor específico	0.5
carne de res	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.75
pescado	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.76
jamon	0.5	kg	1.1023105	lb	calor específico	0.68
cerdo	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.68
pollo	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.79
salchichas	0.5	kg	1.1023105	lb	calor específico	0.6
cerveza	1	lt	2.204621	lb	calor específico	1
mantequilla	0.5	kg	1.1023105	lb	calor específico	0.64
queso	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.7
crema	0.5	kg	1.1023105	lb	calor específico	0.85
huevos	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.85
helado	1	kg	2.204621	lb	calor específico	0.77
miel	0.5	kg	1.1023105	lb	calor específico	0.24
leche	1	lt	2.204621	lb	calor específico	0.9

Tabla 6 Datos de diseño (masa y calor específico) para diferentes productos

Tomando en cuenta que la temperatura ambiente es de 89.6 F y se quiere llevar a los productos a 32 F por lo tanto

$$\Delta T = 89.6 - 32 = 57.6 F \quad (22)$$

Con los datos de la tabla 6 y el ΔT se calcula la carga de acuerdo con la ecuación 5 que cede al sistema cada producto dando como resultado los valores de la tabla 7.

producto	Q [BTU]
manzanas	113.0176909
aguacates	115.5574143
uvas	114.2875526
toronja	231.1148287
limones	115.5574143
naranja	231.1148287
peras	115.5574143
piña	114.2875526
frijoles	99.04921229
brócoli	114.2875526
calabaza	118.0971377
zanahorias	118.0971377
coliflor	114.2875526
maíz	109.2081059
pepino	118.0971377
lechuga	57.14377632
cebolla	115.5574143
papas	109.2081059
espinacas	116.827276
tomates	116.827276
tocino	15.8732712
carne de res	95.2396272
pescado	96.5094889
jamón	43.17529766
cerdo	86.35059533
pollo	100.319074
salchichas	38.09585088
cerveza	126.9861696
mantequilla	40.63557427
queso	88.89031872
crema	53.96912208
huevos	107.9382442
helado	97.77935059
miel	15.23834035
leche	114.2875526

Tabla 7 Carga cedida por los productos.

Realizando la sumatoria de las cargas se obtiene una carga total del producto de:

$$Q = 3578.47 \text{ BTU} \quad (23)$$

Para aplicar el intervalo de tiempo de 24 horas se aplica la ecuación (6) tomando en cuenta el tiempo deseado de enfriamiento de 4 horas ya que es un tiempo razonable pues no se forza el compresor y no tarda tanto tiempo en que el producto llegue a la temperatura deseada.

$$Q = \frac{(m)(c)(\Delta T)(24)}{t_D} = \frac{3578.47 * 24}{4} = 21470.821 \frac{BTU}{h} \quad (24)$$

Para calcular la carga por cambio de aire se toma en cuenta que el volumen interior del espacio refrigerado es de 2.26 ft^3 , de la tabla 5 y extrapolando para el valor de volumen = 2.26 ft^3 nos da un valor de cambio de aire por 24 h de 55.34, el factor de cambios de aire se hace con la tabla 6 tomando en cuenta la temperatura exterior de 86.6 F, la temperatura interior de 32 F y la humedad relativa deseada en el interior del espacio a refrigerar que lo tomaremos de 70 % pues es la humedad idónea[12] para conservar las frutas y verdura, dando un factor de 2.82.

Con los valores anteriores y sustituyendo en la ecuación (7) se obtiene:

$$cca = V_i * ca * fca = 2.26 * 55.34 * 2.82 = 352.73 \frac{BTU}{h} \quad (25)$$

La carga total del sistema es la suma de los resultados de las ecuaciones (21), (24) y (25).

$$Q_4 = 95.805 + 21470.821 + 352.73 = 21919.35 \frac{BTU}{h} \quad (26)$$

Con la obtención de la carga total del sistema se procede a calcular el área del evaporador con los valores de temperatura exterior de espacio refrigerado así como del interior de espacio refrigerado que son $T_e = 89.6 \text{ F}$ y $T_i = 32 \text{ F}$ y con los valores del refrigerante que son tomados como datos de diseño y por medio del diagrama 5 y las presiones seleccionada (272.4 kPa) se obtiene que $T_r = 28.4 \text{ F}$ y $T_{r2} = 28.4 \text{ F}$ es la misma temperatura ya que en este proceso en el cual evapora el refrigerante solo hace el cambio de estado.

Sustituyendo estos valores en la ecuación (10)

$$D = \frac{(T_e - T_r) + (T_i - T_{r2})}{\ln \frac{T_e - T_r}{T_i - T_{r2}}} = \frac{(89.6 - 28.4) - (32 - 28.4)}{\ln \frac{89.6 - 28.4}{32 - 28.4}} = 22.87 \text{ F} \quad (27)$$

De la tabla 4 se toma el valor de coeficiente de transferencia de calor para el cobre pues será el material con el que se manufacturara el evaporador el cual nos da un valor de $U=385.2 \frac{BTU}{h*ft^2*F}$

Con el valor de U obtenido anteriormente y los resultados de la ecuación (26) y (27) y sustituyéndolos en la ecuación (8).

$$Q_4 = (A_2)(U_2)(D_2) \Rightarrow 21919.35 = A * 385.2 * 22.87 \quad (28)$$

Despejando y resolviendo la ecuación (28)

$$A_2 = 2.488 \text{ ft}^2 \quad (29)$$

Sustituyendo el valor del área en la ecuación (9) como se manufactura el evaporador con un tubo de cobre de diámetro de 0.5 pulgada la ecuación (9) queda así:

$$A_2 = 2\pi * r_t * l_e \Rightarrow 2.484 = \pi * 0.5 * l_e \quad (30)$$

De la ecuación (30) se despeja el valor de la longitud necesaria del tubo de cobre para el evaporador y transformándolo en metros.

$$l_e = 5.79 \text{ m} \quad (31)$$

Como serán tres sistemas independientes la longitud total se divide entre 3 y arroja una longitud de cada evaporador de:

$$l_e = 1.93 \text{ m}$$

Con valores obtenidos por el proveedor el compresor tiene un desplazamiento volumétrico de $V = 3.14 \frac{cm^3}{rev}$ y una velocidad de $1625 \frac{rev}{min}$ sustituyendo estos datos en la ecuación (11).

$$\begin{aligned} V_p &= \text{volumen desplazado por revolucion} * \text{velocidad en revoluciones por minuto} \\ &= 3.14 * 1625 = 5102.5 \frac{cm^3}{min} = 0.1802 \frac{ft^3}{min} \end{aligned} \quad (32)$$

Para determinar el flujo másico se determina con el volumen específico del refrigerante en vapor saturado que es de $0.07410 \frac{m^3}{kg}$ y sustituyéndola en la ecuación (12).

$$\dot{m} = \frac{V_p}{v} = \frac{5102.5}{0.0741} = 0.1518 \frac{lb}{min} \quad (33)$$

Del diagrama 6 se obtiene los valores de las entalpías en líquido a la entrada del condensador y vapor saturado a la salida del condensador los valores de $280 \frac{kJ}{kg}$ y $397.4 \frac{kJ}{kg}$ (punto 4 y 1).

Transformando las unidades de las entalpías y sustituyéndolas en la ecuación (13).

$$q_e = h_{vs} - h_{ls} = 170.25 \frac{BTU}{lb} - 119.96 \frac{BTU}{lb} = 50.296 \frac{BTU}{lb} \quad (34)$$

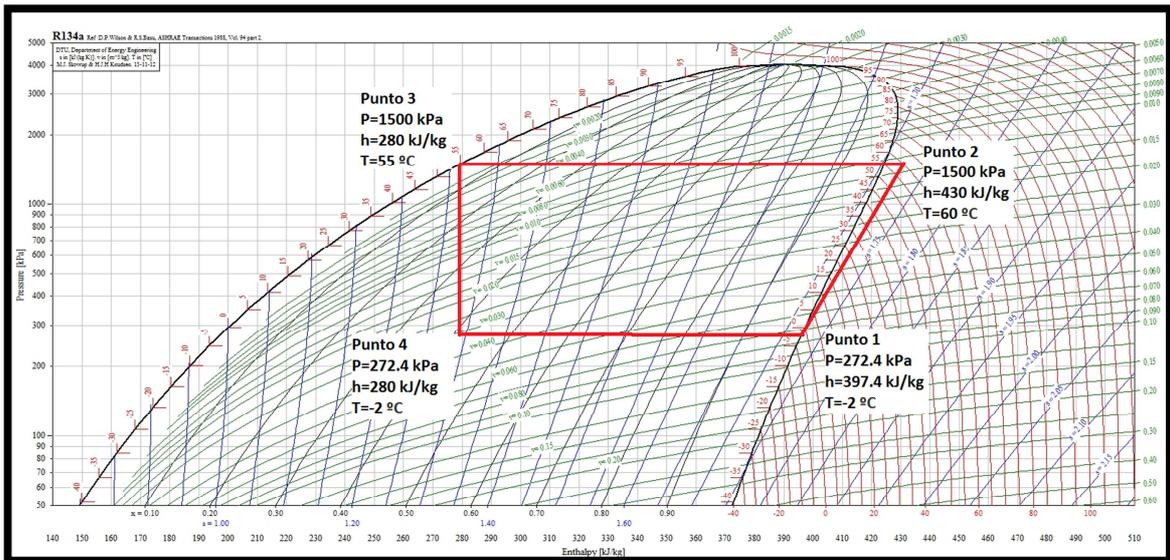


Diagrama 6 Campana de saturación para el refrigerante R134a.

El cálculo de la capacidad del compresor se realiza con la ecuación (14) sustituyendo los valores de las ecuaciones (33) y (34).

$$Q_4 = (\dot{m})(q_e) = 0.1518 * 50.296 = 7.6354 \frac{BTU}{min} = 458.12 \frac{BTU}{h} = \frac{1}{5.6} hp \quad (35)$$

Como se tiene tres sistemas independientes se tendrán tres compresores de 1/16 de hp

el compresor no se manufacturo solo se tomó como referencia el moto compresor de un refrigerador para el cual se tomaron datos del tamaño y la capacidad de almacenaje en este caso es de 1/4 de hp.

Se buscó en los compresores comerciales compresores de la potencia de 1/12 de hp para que la suma de los tres compresores nos dieran 1/4 de hp pero no existen lo más cercano a conseguir en

moto compresores comerciales son 1/10 de hp entonces con esos se empezó a tomar datos y corroborar lo ya calculado.

$$\text{potencia del compresor} = \frac{1}{10} \text{ hp}$$

Para el cálculo del condensador se toma el factor de rechazo de calor extrapolando los valores de la tabla 6 el cual da un valor de 1.252 y con el resultado de la ecuación se sustituyen en la ecuación (15).

$$eetc = (Q_4)(frc) = 458.12 * 1.252 = 573.57 \frac{BTU}{h}$$

Para calcular la longitud del tubo a utilizar para manufacturar se sustituye la ecuación (17) en la (16) quedando la ecuación así:

$$Q_c = (2\pi * r_t * l_c)(U_2)(D_3) \quad (36)$$

El valor de U es el coeficiente de transferencia del cobre que es de $385.2 \frac{BTU}{h * ft^2 * F}$ y el valor de D se determina con la siguiente ecuacion:

$$D_3 = \frac{(T_{r3} - T_{ec}) + (T_{r4} - T_{lc})}{2} \quad (37)$$

Con los datos de diseño de $T_{r3} = 140 F$, $T_{r4} = 131 F$, $T_{ec} = 89.6 F$ y $T_{lc} = 89.6 F$ se sustituyen en la ecuacion (37).

$$D = \frac{(T_r - T_e) + (T_{r2} - T_l)}{2} = \frac{(140 - 89.6) + (131 - 89.6)}{2} = 45.9 F$$

Sustituyendo el resultado en la ecuación (37) y despejando l se tiene la longitud del tubo de 0.5 in necesario para desalojar la carga calorífica.

$$\begin{aligned} Q_c = (2\pi * r_t * l_t)(U_2)(D_3) &=> (2\pi * r_t * l_c) = \frac{Q_c}{U_2 * D_3} = \frac{573.57}{385.2 * 45.9} = 0.02591 \text{ ft}^2 \\ &= 0.0024072 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$l_c = \frac{0.0024072}{0.03989} = 0.06033 \quad (38)$$

Sumando la ecuación (38) y (31) se tiene la longitud total del condensador.

$$l_c = 5.79 + 0.06033 = 5.854 \text{ m}$$

Como son tres sistemas independientes cada condensador es de:

$$l_c = 1.95 \text{ m}$$

III.6 Banco de pruebas

Para ensamblar el banco de pruebas se hizo en 4 etapas las cuales son:

- ❖ Construcción de los serpentines para evaporadores y condensadores.
- ❖ Ensamblaje de los 3 sistemas de refrigeración.
- ❖ Ensamblaje de la etapa de control de los ciclos de refrigeración.
- ❖ Ensamblaje de la etapa de censado en el interior del espacio a refrigerar.

III.6.1 Etapa 1 construcción de serpentines

Con los resultados obtenidos para la longitud de los serpentines, se procede a armar los evaporadores y condensadores. Se adecuaron a la mesa donde se colocó el banco de pruebas, la mesa de trabajo es rectangular teniendo por dimensiones 1.16 m de largo y 0.915 m de ancho.

Teniendo en consideración la longitud calculada para los evaporadores y las dimensiones de la mesa de trabajo se decidió construir los evaporadores con las siguientes dimensiones (figuras 20 y 21):

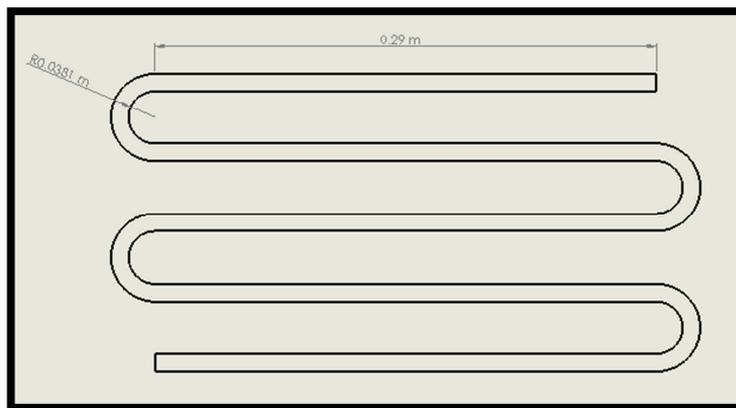


Figura 20 Dimensiones de los evaporadores.

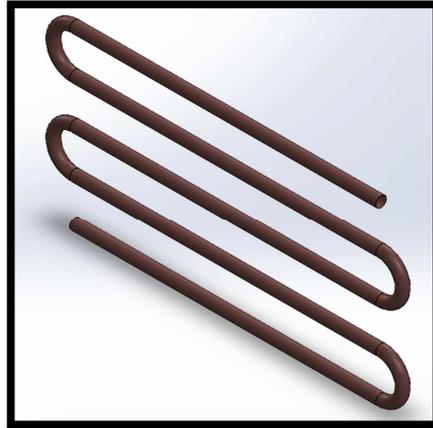


Figura 21 Dibujo del evaporador terminado.

Al no existir en el mercado un doblador de tubo para la medida de 0.5 in, se manufacturo un doblador de tubo, con las características necesarias para realizar los dobleces al tubo.

Como el doblador de tubo no permite realizar el condensador con un solo tramo de tubo, por esta restricción se secciono el evaporador en 4 codos de 180 grados con una longitud de 0.119 m y 5 tramos rectos de 0.29 m de longitud, después se soldó con soldadura de plata para evitar problemas de fugas de refrigerante.

El condensador tiene las medidas mostradas en la figura 22.

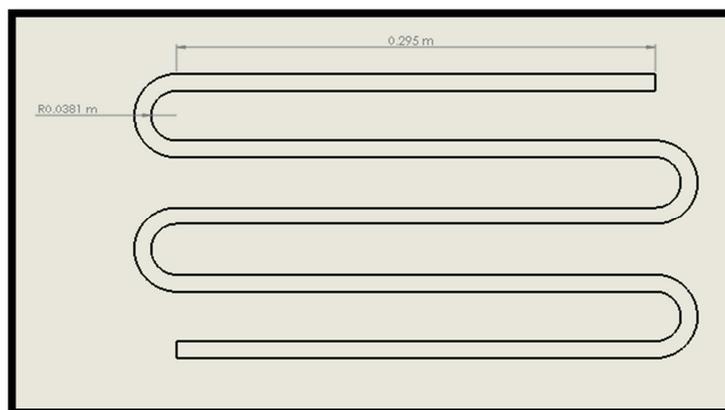


Figura 22 Dimensiones de los condensadores.

El condensador se ensambla de la misma forma que el evaporador.

El condensador resultante es como el mostrado en la figura 23.

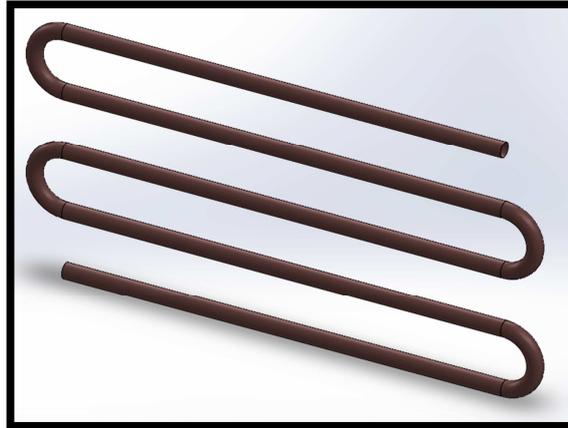


Figura 23 Dibujo del condensador terminado.

III.6.2 Etapa 2 ensamblaje de los 3 sistemas de refrigeración

Al terminar la etapa 1 se empieza a montar los sistemas de refrigeración en el banco de pruebas lo primero que se colocaron todos y cada uno de los elementos en la mesa de trabajo para ver las posiciones que ocuparan en la misma.

Al seleccionar la ubicación de cada componente se coloca los elementos del primer sistema de refrigeración y se soldán con aporte de plata, esto se hace para que la tubería del sistema este el menor tiempo en contacto con el ambiente para evitar que entre humedad al sistema, se calentó los serpentines para eliminar la humedad que se pudiera introducirse al exponer el sistema abierto al medio ambiente.

De la misma forma se ensamblaron los dos sistemas de refrigeración faltante, en las figuras 24, 25 y 26 muestran el banco de pruebas.

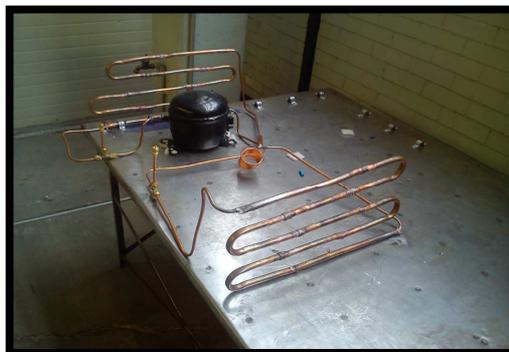


Figura 24 1er ciclo de refrigeración instalado.



Figura 25 2do ciclo de refrigeración instalado.



Figura 26 Banco de pruebas ensamblado e instalado.

Se ensambla la primera configuración, dos evaporadores a los lados y un evaporador abajo, como se muestran en la figuras 27 y 28.

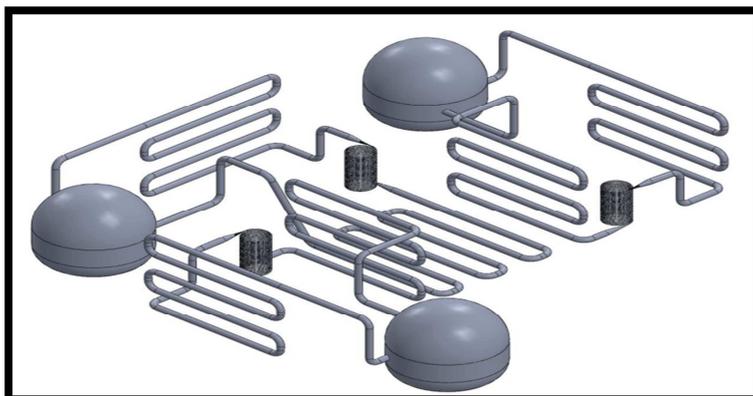


Figura 27 Primera configuración, dos evaporadores a los lados y un evaporador abajo.



Figura 28 Fotografía de los evaporadores para la primera configuración.

Se realizan las pruebas de medición de temperatura al interior del espacio a refrigerar y se procede a ensamblar la segunda configuración que queda como lo muestra las figuras 29 y 30.

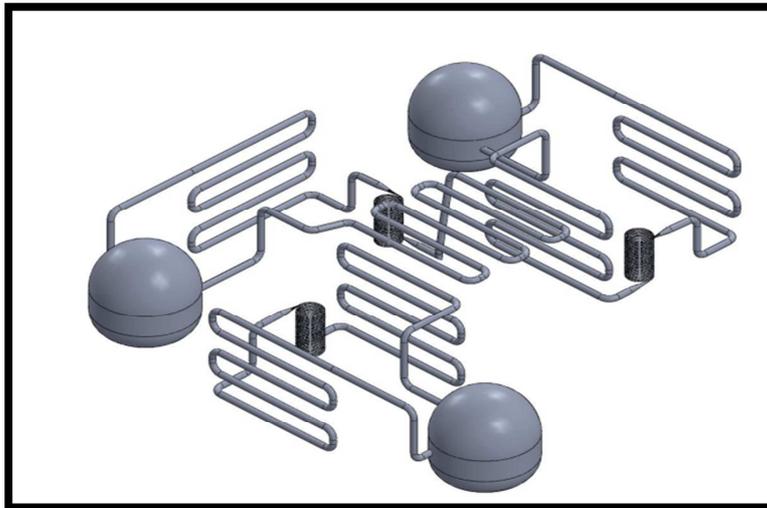


Figura 29 Segunda configuración, dos evaporadores a los lados y un evaporador arriba.



Figura 30 Fotografía de los evaporadores para la segunda configuración.

Al ensamblar la segunda configuración se procedió a realizar las mediciones correspondientes al banco de pruebas.

III.6.3 Etapa 3 Elaboración de la etapa de control de los ciclos de refrigeración

En esta etapa se realiza un programa (apéndice B) en el compilador C CCS, este compilador maneja el lenguaje c.

En este programa se mandan las señales para los paros y los arranques de los compresores dependiendo del rango de temperaturas programados para el espacio refrigerado, utilizando los intervalos de temperatura (tabla 9) de:

compresores prendidos	intervalo de temperaturas
3 compresores	$t > 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2 compresores	$7 \text{ }^{\circ}\text{C} > t \leq 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
1 compresor	$4 \text{ }^{\circ}\text{C} > t \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabla 8 Intervalos de temperatura para el control de compresores.

Se elaboró un control de tipo on/off que dependiendo de la temperatura en el interior del espacio refrigerado manda una señal de arrancar o parar uno, dos o tres compresores.

En el mercado existen diferentes tipos de sensores de temperatura como lo son:

- ❖ Termistor.
- ❖ Termopar.
- ❖ RTD (resistance temperature detector).
- ❖ Termómetro.
- ❖ Electrónicos.

Tomando en cuenta estas especificaciones y comparándolas, todos los sensores son muy similares, se decidió utilizar el LM35 por cuestiones económicas y la facilidad para instalarse ya que no es necesario manufacturarlo como en el caso del termo par que también resulta económico pero se tiene que manufacturar y además no se necesita calibración.

Para la medición de temperatura en el interior del espacio refrigerado se utiliza un sensor de temperatura LM35 el cual tiene las siguientes especificaciones:

- ❖ Calibrado directamente en grados Celsius (centígrados)
- ❖ Factor lineal de $+10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
- ❖ Rango de trabajo: -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$
- ❖ Bajo precio
- ❖ Funciona con alimentaciones entre 4V y 40V

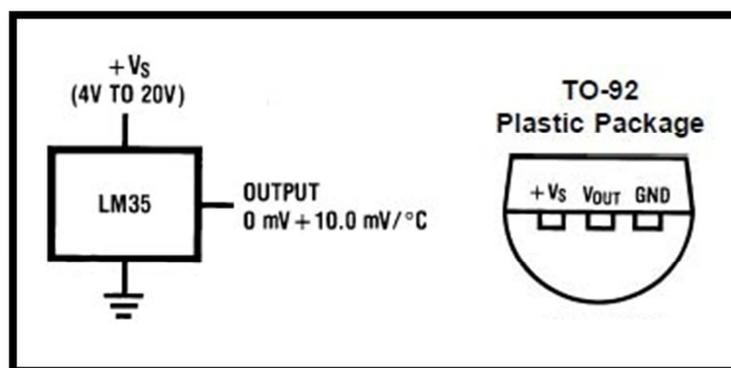


Figura 31 Sensor LM35 encapsulado y diagrama de conexión.

Se eligió el PIC 16f887 por que cubre las necesidades en este trabajo, es fácil de usar (con el uso de la tarjeta de desarrollo diseñada por el ingeniero Ulises Peñuelas) es muy fácil de instalar en el banco de pruebas.

El LM35 (figura 31) manda un voltaje el cual es recibido por PIC 16f887 el cual tiene las siguientes especificaciones:

- ❖ frecuencia máxima DX-20Mhz.
- ❖ memoria de programa flash 8 KB.
- ❖ posiciones RAM de datos 368.
- ❖ posiciones EEPROM de datos 256.
- ❖ puertos E/S A, B, C, D, E.
- ❖ Numero de Pines 40.
- ❖ Interrupciones 14.
- ❖ Timers 3.
- ❖ Comunicaciones Serie MSSP, USART.

Después de procesar los datos mandados por el LM35 el PIC manda las señales para poner en operación o parar los compresores, dependiendo de la señal recibida.

Existen varios tipos de transistores en el mercado, se decidió utilizar el transistor TIP 31 (figura 32) por el valor de saturación en la base que es de 5 volts que es el valor que nos arroja la salida de los puertos del PIC. Además de que su frecuencia de respuesta es muy alta con lo cual manda la señal para que los compresores paren o arranquen.

la señal de salida es mandada a un transistor TIP 31 el cual tiene las siguientes especificaciones:

- ❖ Transistor NPN de media potencia.
- ❖ I_C max: 3A.
- ❖ I_C pico max: 5A.
- ❖ I_B max: 1A.
- ❖ P_{TOT} : 40W.
- ❖ V_{CEO} : 100V, V_{CBO} : 100V, V_{EBO} : 5V.
- ❖ Alta frecuencia de respuesta.

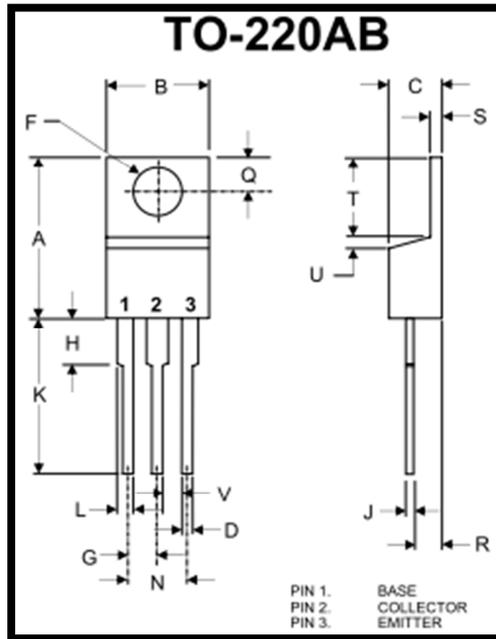


Figura 32 Transistor TIP 31.

El transistor TIP 31 se utiliza como interruptor para activar las bobinas de los relevadores (figura 33), los platinos de los relevadores soportan el amperaje y el voltaje demandado por los compresores utilizados (120 V y un pico de 6A), las especificaciones de los relevadores utilizados son:

- ❖ 24 Vcc / 10 A.
- ❖ 120 Vca / 10 A.
- ❖ 250 Vca / 7 A.

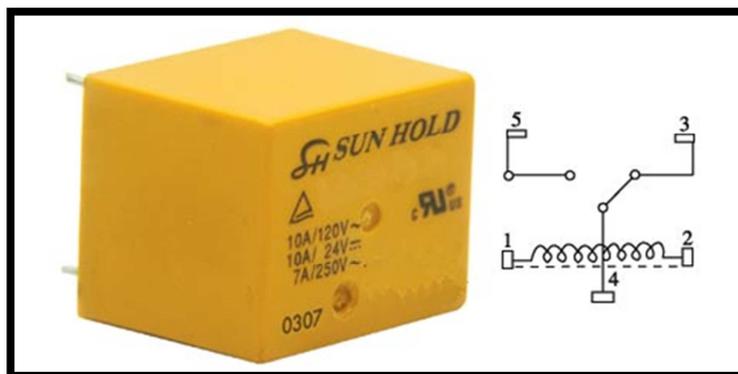


Figura 33 Relevador de bobina de 5V.

III.6.4 Etapa 4 Ensamble de la etapa de medición en el interior del espacio a refrigerar

En esta etapa se elabora un mallado tridimensional para analizar la distribución de temperatura en el banco de pruebas y en un refrigerador convencional. Esto se hizo con alambre de cobre calibre 12 y soldándolos obteniendo un mallado, después se distribuyó en el mallado 14 sensores LM35 para censar la distribución de temperaturas y así poder compararla con un refrigerador convencional de uso doméstico.

En la figura 36 se aprecia la distribución de los sensores LM35 en el mallado, En las figuras 37 y 38 se aprecia el mallado colocado en el espacio refrigerado en el banco de pruebas.

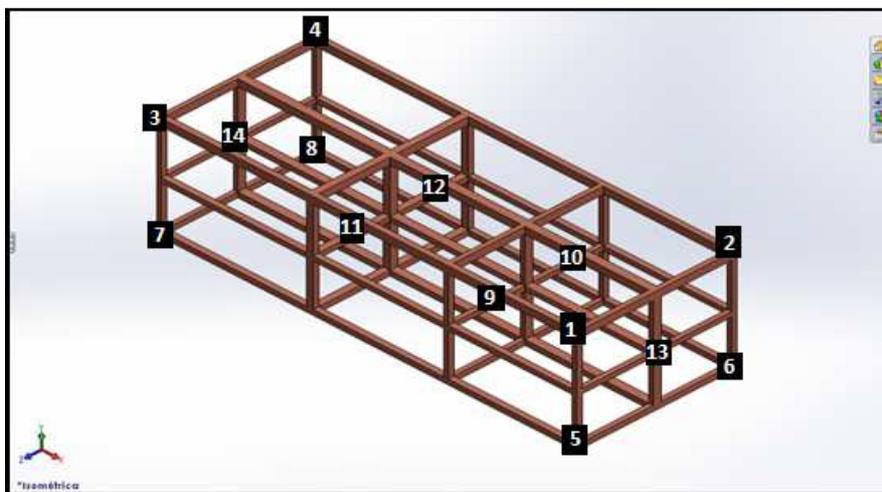


Figura 36 Distribución de los sensores LM35 en el mallado.



Figura 37 Circuito para conocer la distribución de temperatura.



Figura 38 Mallado en el interior del espacio refrigerado en el banco de pruebas.

En la figura 39 se muestra el circuito simulado para la medición de temperaturas y en el apéndice B se muestra el programa que se utilizó en el PIC 16f887 para controlar los sensores LM35 y la transmisión de datos del PIC a la PC (RS-232) para poder analizar la distribución de temperatura.

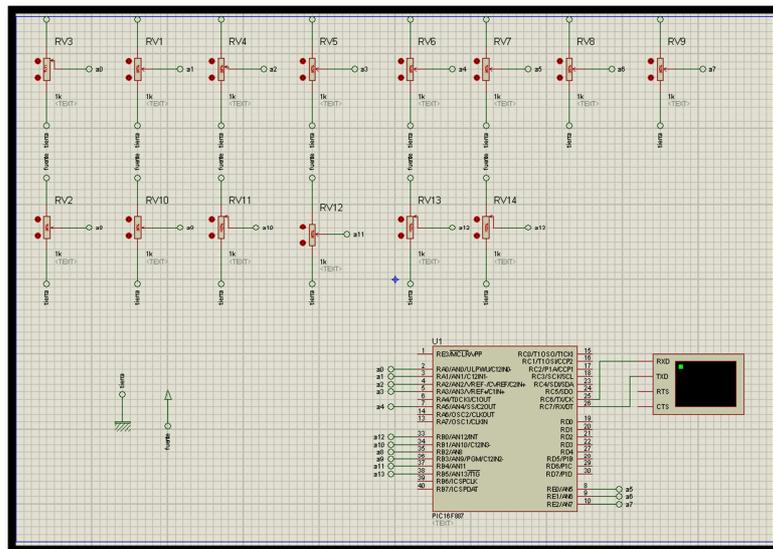


Figura 39 Simulación del mallado para sensar la distribución de calor.

III.7 Ecuación de la energía y su aplicación en el ciclo de refrigeración.

La ecuación de la energía en un sistema está representado por:

$$W + Q + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) = \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) \quad (39)$$

Dónde:

Subíndice 1, condición de entrada.

Subíndice 2, condición de salida.

Si dividimos la ecuación (39) entre \dot{m} pues en el ciclo de refrigeración la masa del refrigerante siempre es la misma ($\dot{m}_1 = \dot{m}_2$), y despejando el trabajo nos queda:

$$w = (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) - q \quad (40)$$

Dónde:

$$w = \frac{W}{\dot{m}} \quad y \quad q = \frac{Q}{\dot{m}}$$

si aplicamos la ecuación (40) para cada uno de los componentes del sistema de refrigeración obtenemos las variaciones en cada uno de estos.

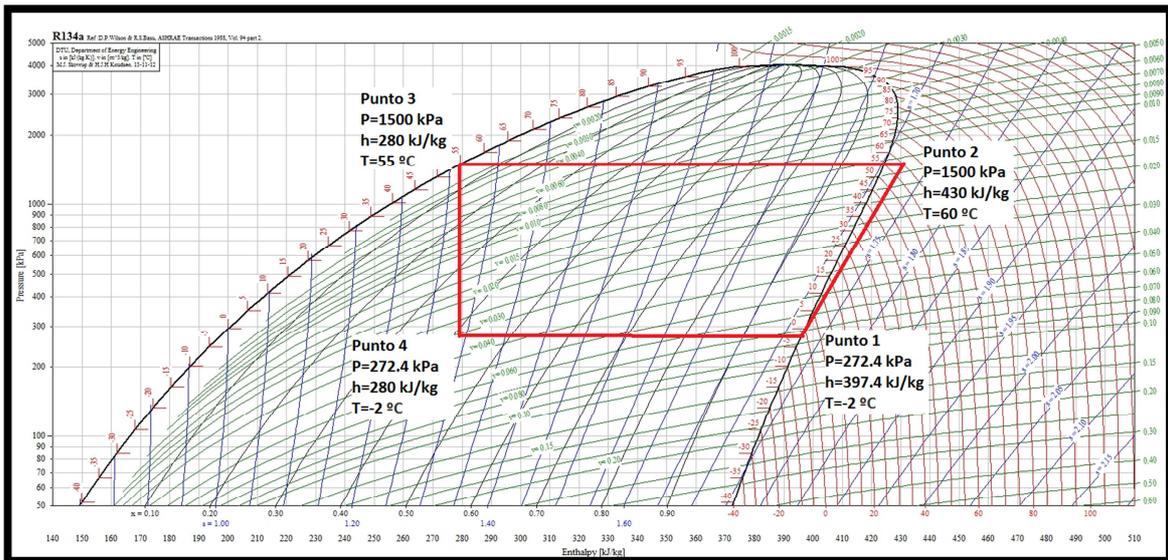


Diagrama 7 Diagrama presión-entalpia para el ciclo de refrigeración completo.

III.7.1 compresor

$$w = (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) - q \quad (41)$$

En el diagrama 7 se utiliza el subíndice 1 para la condición de entrada en el compresor y el subíndice dos como condición de salida para el compresor.

Como la velocidad no cambia a la entrada y a la salida del compresor entonces $v_1 = v_2$ y como no hay cambio de altura y en el compresor se supone sin transferencia de calor hacia el exterior $z_1 = z_2$ y $q = 0$ sustituyendo estas suposiciones la ecuación (41).

$$w_c = (h_2 - h_1) \quad (42)$$

Donde w_c se le denomina equivalente de trabajo por unidad de masa (kJ/kg)

Para el presente trabajo el trabajo por unidad de masa teórico es de:

$$w_{ct} = h_2 - h_1 = 430 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 397.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 32.6 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

III.7.2 Condensador

$$w = (h_3 - h_2) + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2} + g(z_3 - z_2) - q \quad (43)$$

En el diagrama 7 se utiliza el subíndice 2 para la condición de entrada en el condensador y el subíndice 3 como condición de salida para el condensador.

Como la velocidad no cambia a la entrada y a la salida del condensador entonces $v_1 = v_2$ y como no hay cambio de altura y en el condensador y no se realiza ningún tipo de trabajo solo se hace la transferencia de calor $z_1 = z_2$ y $w = 0$ sustituyendo estas suposiciones la ecuación (43) y despejando q.

$$q_c = (h_3 - h_2) \quad (44)$$

Donde q_c se le denomina calor específico del condensador

Para el presente trabajo el calor específico del condensador teórico es de:

$$q_{ct} = h_3 - h_2 = 280 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 430 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = -150 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

III.7.3 Válvula de estrangulamiento

$$w = (h_4 - h_3) + \frac{v_4^2 - v_3^2}{2} + g(z_4 - z_3) - q \quad (45)$$

En el diagrama 7 se utiliza el subíndice 3 para la condición de entrada en la válvula de estrangulamiento y el subíndice 4 como condición de salida de la válvula de estrangulamiento.

Como la velocidad no cambia a la entrada y a la salida de la válvula de estrangulamiento $v_1 = v_2$ y como no hay cambio de altura y en la válvula de estrangulamiento y no se realiza ningún tipo de trabajo o transferencia de calor $z_1 = z_2$, $w = 0$ y $q=0$ sustituyendo estas suposiciones la ecuación (45).

$$h_3 = h_4 \quad (46)$$

III.7.4 Evaporador

$$w = (h_1 - h_4) + \frac{v_1^2 - v_4^2}{2} + g(z_1 - z_4) - q \quad (47)$$

En el diagrama 7 se utiliza el subíndice 4 para la condición de entrada en el evaporador y el subíndice 1 como condición de salida para el evaporador.

Como la velocidad no cambia a la entrada y a la salida del evaporador entonces $v_1 = v_2$ y como no hay cambio de altura y en el evaporador y no se realiza ningún tipo de trabajo solo se hace la transferencia de calor $z_1 = z_2$ y $w = 0$ sustituyendo estas suposiciones la ecuación (47) y despejando q.

$$q_e = (h_1 - h_4) \dots \dots (48)$$

Donde q_e se le denomina efecto refrigerante o producción frigorífica específica que es la cantidad de calor absorbida por unidad de masa del refrigerante.

Para el presente trabajo el efecto refrigerante teórico es de:

$$q_{et} = h_3 - h_2 = 397.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 280 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 117.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

III.8 Coeficiente de efecto frigorífico

Los ciclos de refrigeración, permiten la transferencia de calor desde una fuente caliente, hasta otra fuente a menor temperatura, fuente fría; estos ciclos vienen caracterizados por su desempeño de refrigeración llamado coeficiente de desempeño (COP), por sus siglas en inglés (coefficient of performance) que es la relación entre la cantidad de calor extraída a la fuente fría y el trabajo aplicado al ciclo mediante un compresor.

$$COP_t = \frac{q_e}{w_c} \dots \dots \dots (49)$$

Donde:

COP_t : Coeficiente de desempeño teórico.

q_e : efecto refrigerante

w_c : trabajo por unidad de masa

sustituyendo las ecuaciones (42) y (48) en la ecuación (49) obtenemos el COP teórico del banco de pruebas.

$$COP_t = \frac{q_e}{w_c} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{397.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 280 \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{430 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 397.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = \frac{117.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{32.6 \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = 3.601$$

CAPÍTULO IV

Resultados y análisis de resultados

Resumen del capítulo

En este capítulo se muestran el banco de pruebas en operación, se le hacen mediciones de presión del refrigerante, amperaje consumido para cada sistema y las temperaturas de los evaporadores y condensadores, se realizan las pruebas del sensado de temperatura al interior del espacio a refrigerar, se le aplican las mismas mediciones y pruebas a un refrigerador comercial, se comparan los resultados obtenidos y por último se analizan la distribución de calor obtenida después de realizar las pruebas.

IV.1 Resultados

Se ensablo el banco de pruebas (figuras 40, 41, 42 y 43)

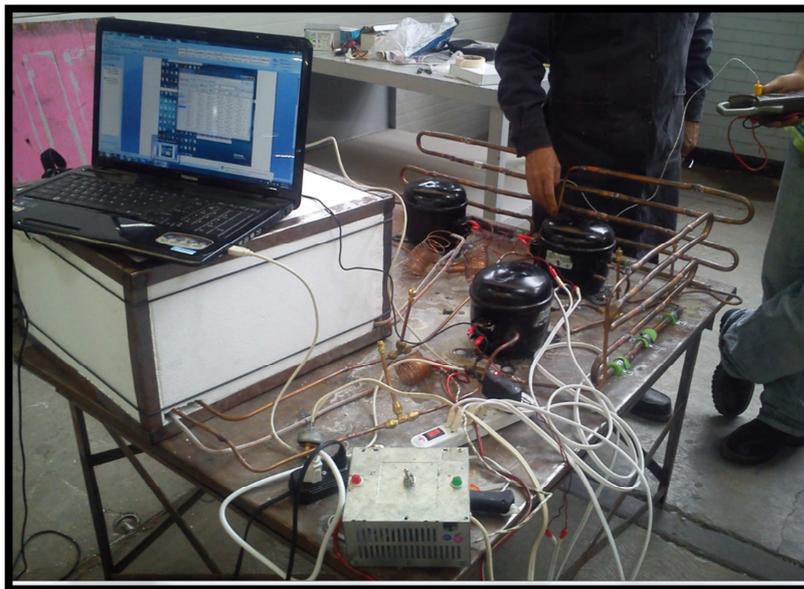


Figura 40 Banco de Pruebas en operación.



Figura 41 Banco de pruebas en operación.



Figura 42 Banco de pruebas en operación.



Figura 43 Banco de pruebas en operación.

Del primer sistema de refrigeración del banco de pruebas se tomaron los siguientes datos:

- ❖ presión alta de 240 psi.
- ❖ presión baja de 38 psi.
- ❖ voltaje de operación 110.
- ❖ corriente de operación 1.03 A.
- ❖ Temperatura en el condensador 56 °C.

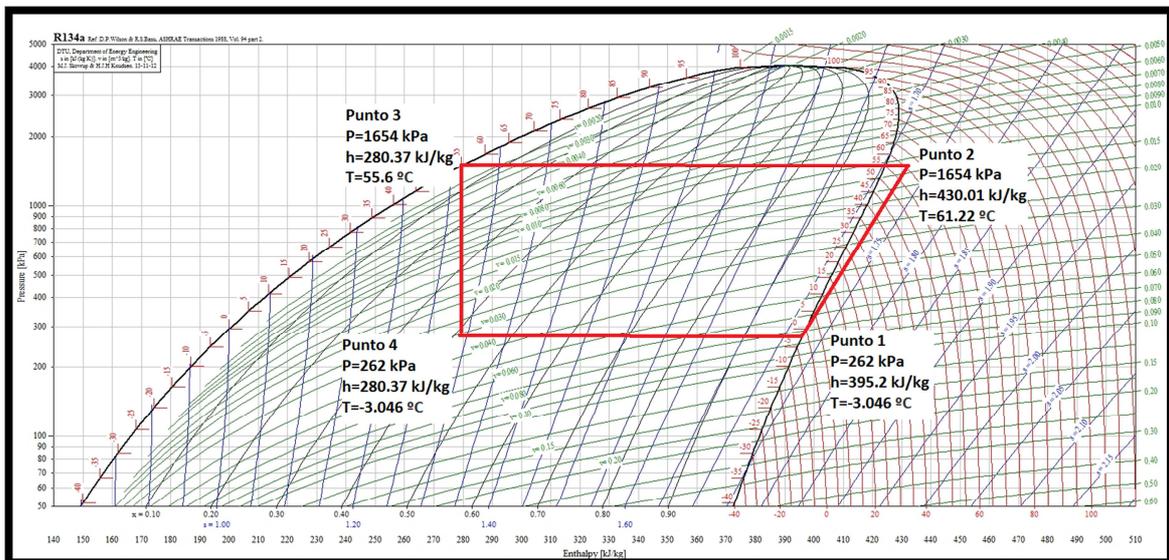


Diagrama 8 Diagrama presión-entalpia para el primer sistema de refrigeración.

Aplicando la ecuación (42) obtenemos el equivalente real de trabajo por unidad de masa.

$$w_r = (h_2 - h_1) \quad (42)$$

sustituyendo los valores de entalpia a la entrada y salida del compresor tenemos que:

$$w_r = (430.01 - 395.2) = 34.81 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el efecto refrigerante sustituimos los valores obtenidos en el primer sistema de refrigeración en la ecuación (48).

$$q_e = (h_1 - h_4) \quad (48)$$

$$q_e = (395.2 - 280.37) = 114.83 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el COP del sistema utilizamos la ecuación (49)

$$COP_r = \frac{q_e}{w_c} \quad (49)$$

Sustituyendo los valores de trabajo equivalente y efecto refrigerante nos da un COP para el primer sistema de refrigeración de:

$$COP_{C1} = \frac{q_e}{w_r} = \frac{114.83}{34.81} = 3.299$$

Del segundo sistema de refrigeración del banco de pruebas se tomaron los siguientes datos:

- ❖ presión alta de 230 psi.
- ❖ presión baja de 42 psi.
- ❖ voltaje de operación 110.
- ❖ corriente de operación 1.01 A.
- ❖ Temperatura en el condensador 54 °C.

Aplicando la ecuación (42) obtenemos el equivalente real de trabajo por unidad de masa.

$$w_r = (h_2 - h_1) \quad (42)$$

sustituyendo los valores de entalpia a la entrada y salida del compresor se tiene que:

$$w_r = (429.45 - 396.32) = 33.13 \frac{kJ}{kg}$$

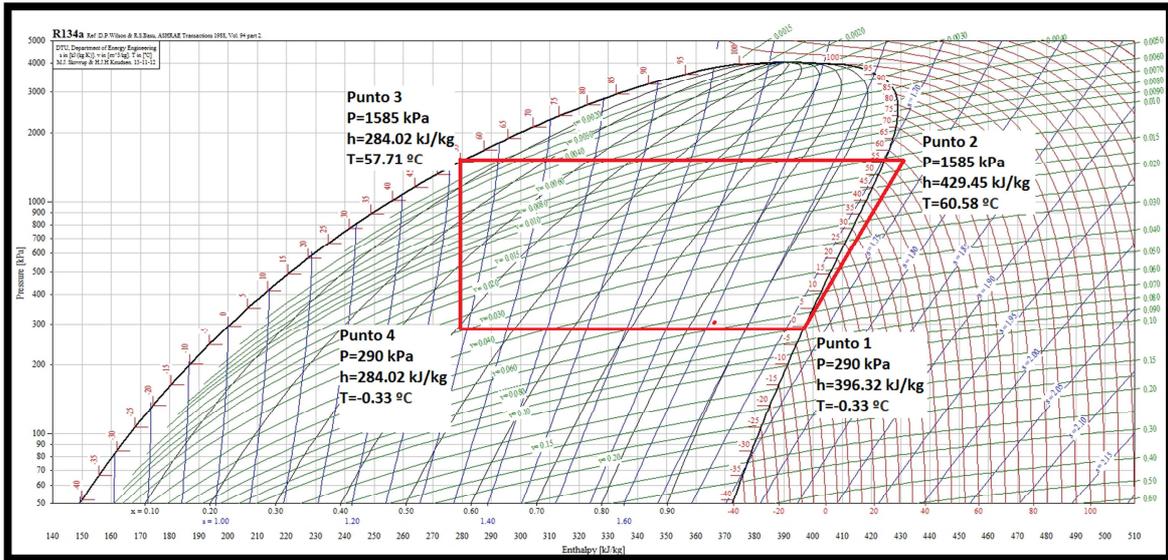


Diagrama 9 Diagrama presión-entalpia para el segundo sistema de refrigeración.

Para obtener el efecto refrigerante sustituimos los valores obtenidos en el primer sistema de refrigeración en la ecuación (48).

$$q_e = (h_1 - h_4) \tag{48}$$

$$q_e = (396.32 - 284.02) = 112.3 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el COP del sistema utilizamos la ecuación (49)

$$COP_r = \frac{q_e}{w_c} \tag{49}$$

Sustituyendo los valores de trabajo equivalente y efecto refrigerante nos da un COP para el segundo sistema de refrigeración es de:

$$COP_{C2} = \frac{q_e}{w_r} = \frac{112.3}{33.13} = 3.38$$

Del tercer sistema de refrigeración del banco de pruebas se tomaron los siguientes datos:

- ❖ presión alta de 232 psi.
- ❖ presión baja de 38 psi.
- ❖ voltaje de operación 110.
- ❖ corriente de operación 1.01 A.
- ❖ Temperatura en el condensador 56 °C.

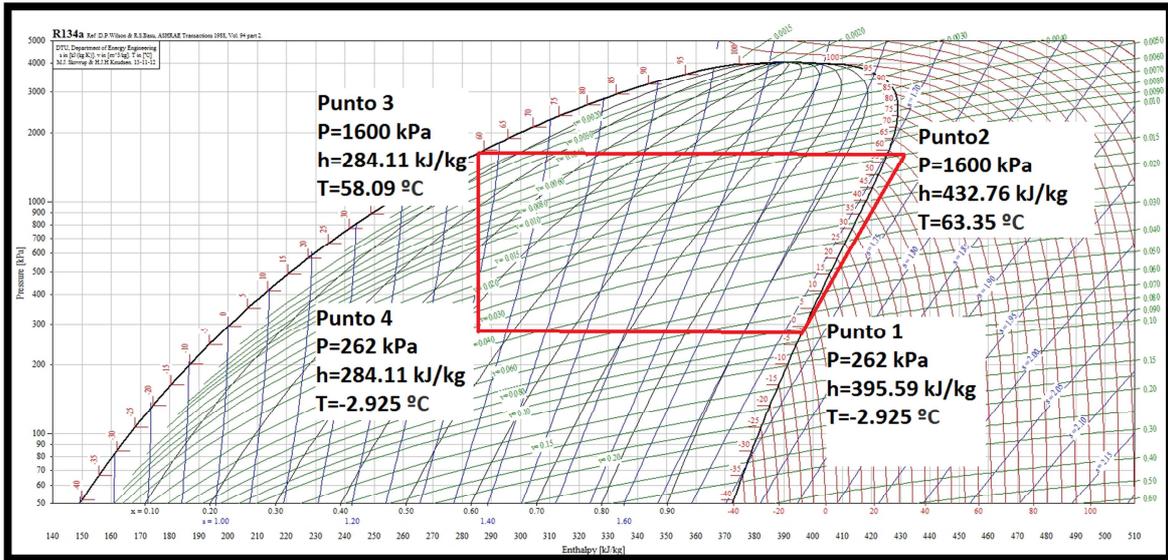


Diagrama 10 Diagrama presión-entalpia para el tercer sistema de refrigeración.

Aplicando la ecuación (42) obtenemos el equivalente real de trabajo por unidad de masa.

$$w_r = (h_2 - h_1) \tag{42}$$

sustituyendo los valores de entalpia a la entrada y salida del compresor se obtiene que:

$$w_r = (432.76 - 395.59) = 37.17 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el efecto refrigerante sustituimos los valores obtenidos en el tercer sistema de refrigeración en la ecuación (48).

$$q_e = (h_1 - h_4) \tag{48}$$

$$q_e = (395.59 - 284.11) = 111.48 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el COP del sistema utilizamos la ecuación (49)

$$COP_r = \frac{q_e}{w_c} \tag{49}$$

Sustituyendo los valores de trabajo equivalente y efecto refrigerante nos da un COP para el tercer sistema de refrigeración es de:

$$COP_{C3} = \frac{q_e}{w_r} = \frac{111.48}{37.17} = 3$$

Del refrigerador convencional domestico se tomaron los siguientes datos:

- ❖ Temperatura en el condensador 62 °C.
- ❖ Temperatura en el evaporador 0 °C.

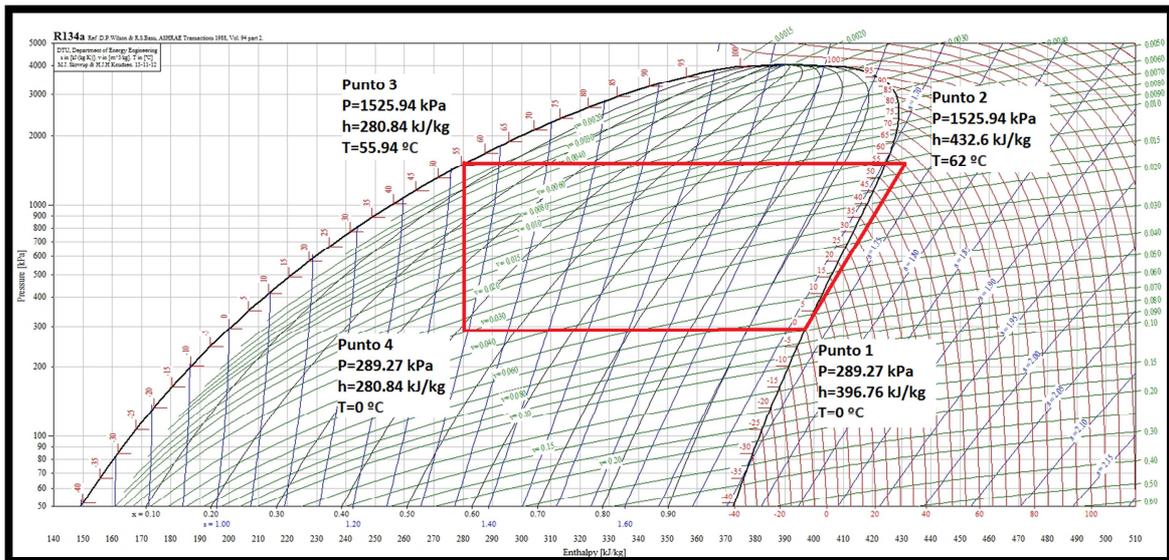


Diagrama 11 Diagrama presión-entalpia para el refrigerador convencional domestico.

Aplicando la ecuación (42) obtenemos el equivalente real de trabajo por unidad de masa.

$$w_r = (h_2 - h_1) \quad (42)$$

Sustituyendo los valores de entalpia a la entrada y salida del compresor tenemos que:

$$w_r = (432.6 - 394.76) = 35.84 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el efecto refrigerante sustituimos los valores obtenidos en el refrigerador convencional doméstico en la ecuación (48).

$$q_e = (h_1 - h_4) \quad (48)$$

$$q_e = (396.76 - 280.84) = 115.92 \frac{kJ}{kg}$$

Para obtener el COP del sistema utilizamos la ecuación (49)

$$COP_r = \frac{q_e}{w_c} \quad (49)$$

Sustituyendo los valores de trabajo equivalente y efecto refrigerante nos da un COP para el refrigerador convencional domestico es de:

$$COP_{RCD} = \frac{q_e}{w_r} = \frac{115.92}{35.84} = 3.23$$

IV.2 Análisis de resultados

Los COPs obtenidos en el banco de pruebas se presentan en la tabla 9.

COP_{BPT}	COP_{C1}	COP_{C2}	COP_{C3}	COP_{RCD}
3.601	3.299	3.38	3	3.23

Tabla 9 COPs.

Donde los subíndices representan:

BPT: Banco de pruebas teórico.

C1: Sistema 1.

C2: Sistema 2.

C3: Sistema 3.

RCD: Refrigerador comercial doméstico.

En la tabla 10 se observa los COPs de los sistemas de refrigeración, el refrigerador comercial doméstico y del banco de pruebas teórico, de esta tabla se establece que todos los COPs son aceptables ya que concuerdan con los valores establecidos para ciclos de refrigeración eficientes que tienen un COP mayor a 3, el tercer ciclo de refrigeración C3 está .01 abajo del COP pero es aceptable por el tipo de aislamiento y el lugar donde se hizo el experimento.

Los COPs de los sistemas son diferentes ya que existen varios factores que pueden hacer cambiar el sistema como por ejemplo las corrientes de aire al realizar la medición o la forma de realizar las mediciones de temperatura ya que se hicieron con contacto a los serpentines y no en el refrigerante, pero se aceptan validas porque es unas mediciones muy cercanas a las reales.

En el banco de pruebas se le realizaron las mediciones, obteniendo los siguientes resultados:

- ❖ El primer ciclo demandó una corriente de 1.03 A.
- ❖ El segundo ciclo demandó una corriente de 1.01 A.
- ❖ El tercer ciclo demandó una corriente de 1.01 A.

Con lo cual el sistema completo del banco de pruebas demanda una corriente de 3.05 A. Al hacer las mismas mediciones a un refrigerador convencional con un compresor de 1/4 de hp se hace la medición de 3.25 A de corriente demandada cuando está operando.

Se realizaron dos pruebas para verificar cual de las dos configuraciones tendrían mejor resultados y cuál de las dos configuraciones llega a la temperatura deseada en menor tiempo.

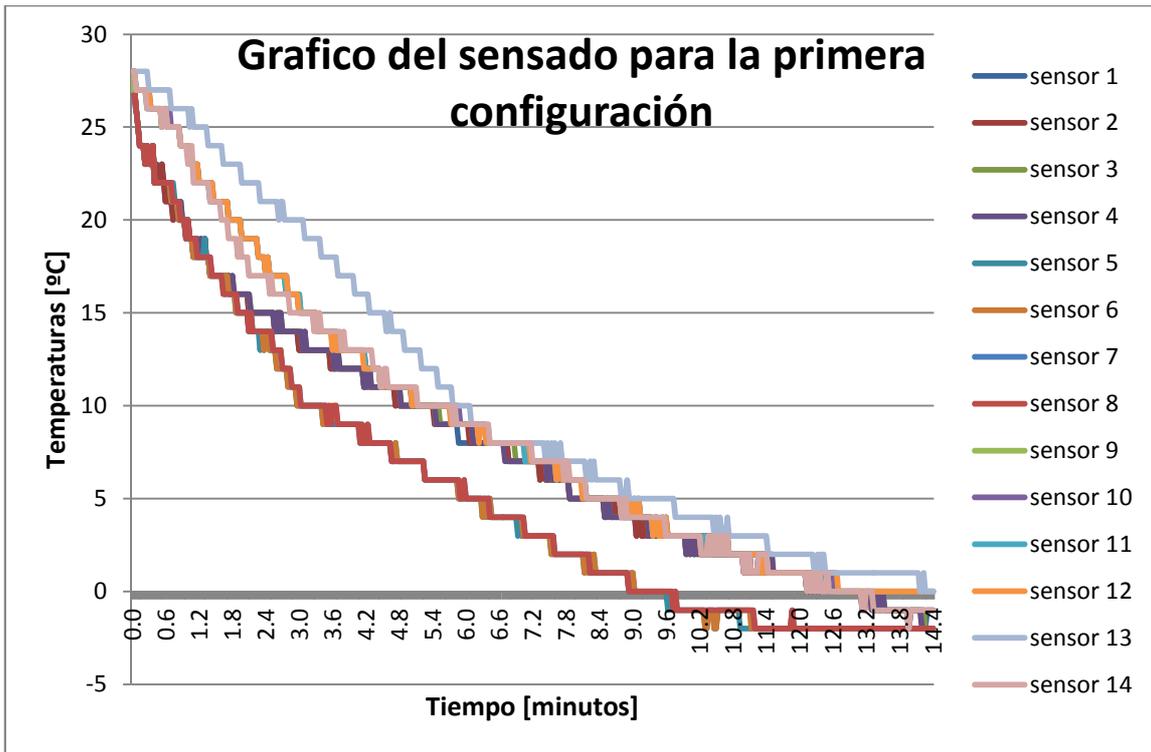
Se realizan las pruebas a la primera configuración (dos evaporadores al costado y el tercer evaporador abajo).

En la figura 44 se aprecia cual fue la configuración para la primera prueba.



Figura 44 Primera configuración de evaporadores.

Al realizar 5 veces las pruebas estas nos arrojan en promedio los valores de la tabla 10(apéndice A), la gráfica 1 representa los datos promedios obtenidos en la prueba:



Grafica 1 Grafica de los valores de la tabla 10.

De los datos de la tabla 10 (apéndice A) se obtiene que el sistema tarda 14 minutos con 25 segundos en estabilizarse a un valor de cero grados centígrados.

Las figuras 45 y 46 representa la distribución de calor dentro del espacio refrigerado obtenida al analizar la tabla 10 (apéndice A) para la primera configuración.

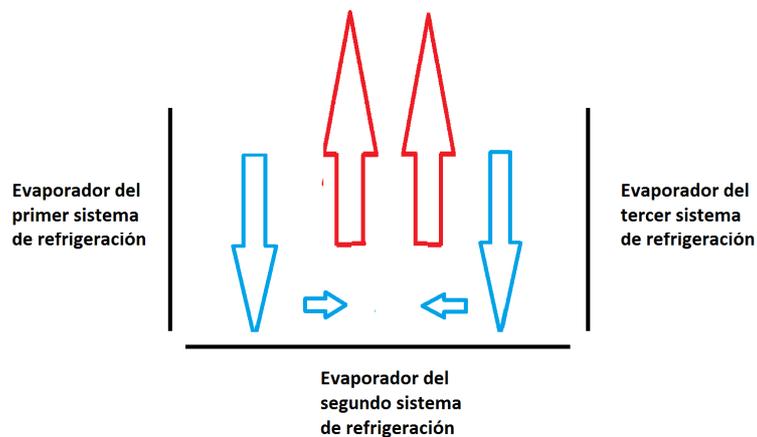


Figura 45 Distribución de calor dentro del espacio a refrigerar visto de frente, rojo calor, azul frio.

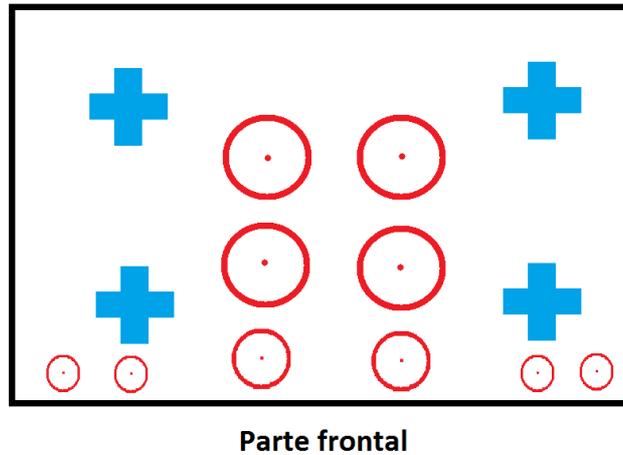


Figura 46 Distribución de calor dentro del espacio a refrigerar visto por arriba, rojo calor, azul frio.

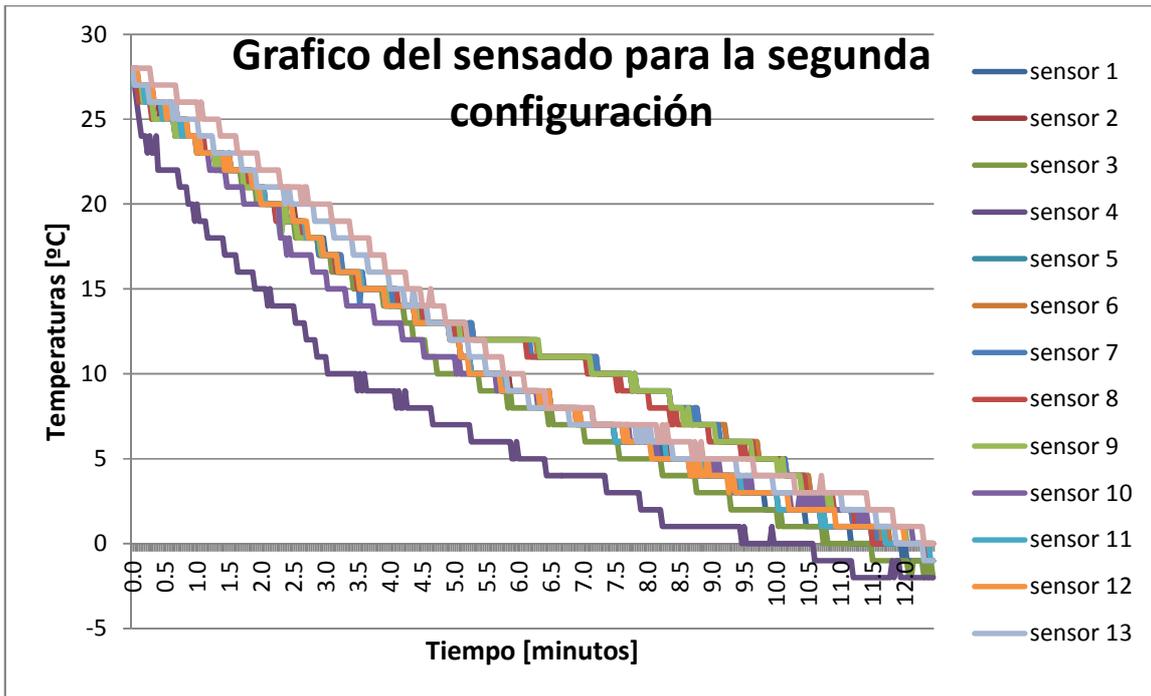
Para la segunda configuración se realiza la misma prueba, en la figura 47 se muestra la segunda configuración que consta de dos evaporadores a los lados y un evaporador arriba.



Figura 47 Segunda configuración de los evaporadores.

Después de realizar la prueba, esta nos arroja los siguientes datos de la tabla 11 (apéndice A):

la gráfica 2 nos muestra los datos de la tabla 11 gráficamente



Grafica 2 Grafica de los valores de la tabla 11.

Con los datos de la tabla 11 (apéndice A) se observa que tarda 12 minutos con 27 segundos para estabilizar cero grados centígrados todo el espacio refrigerado, por la posición que se encuentran los sensores algunos están más cerca a los evaporadores es por eso que son los primeros que llegan a la temperatura deseada o bajan más allá de esta temperatura.

Las figuras 48 y 49 representa la distribución de calor dentro del espacio refrigerado obtenidas al analizar la tabla 11 (apéndice A) para la segunda configuración.

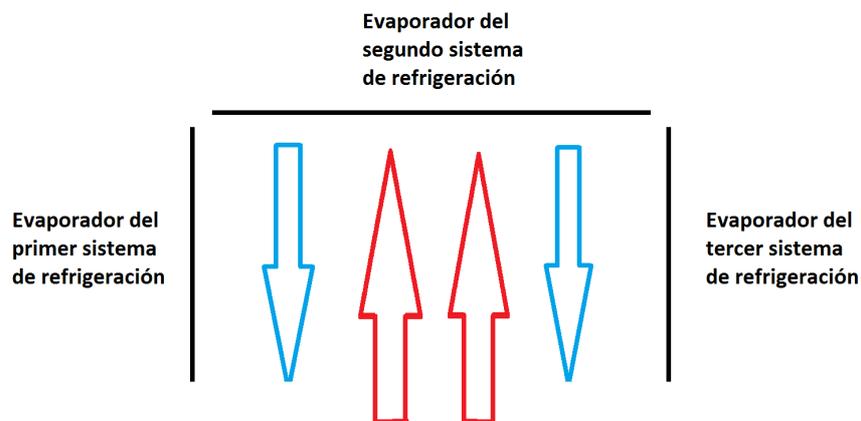


Figura 48 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto de frente, rojo calor, azul frio.

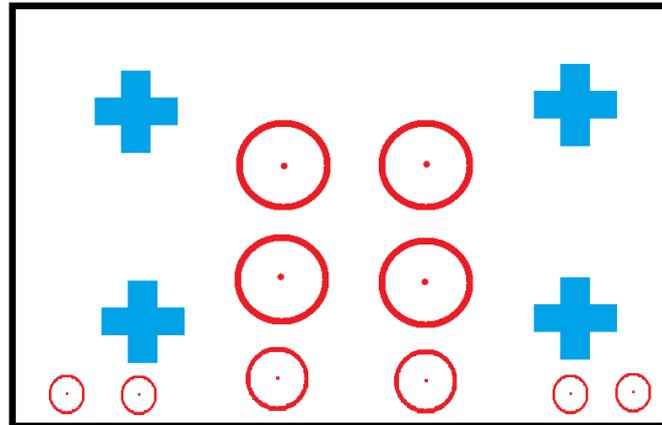
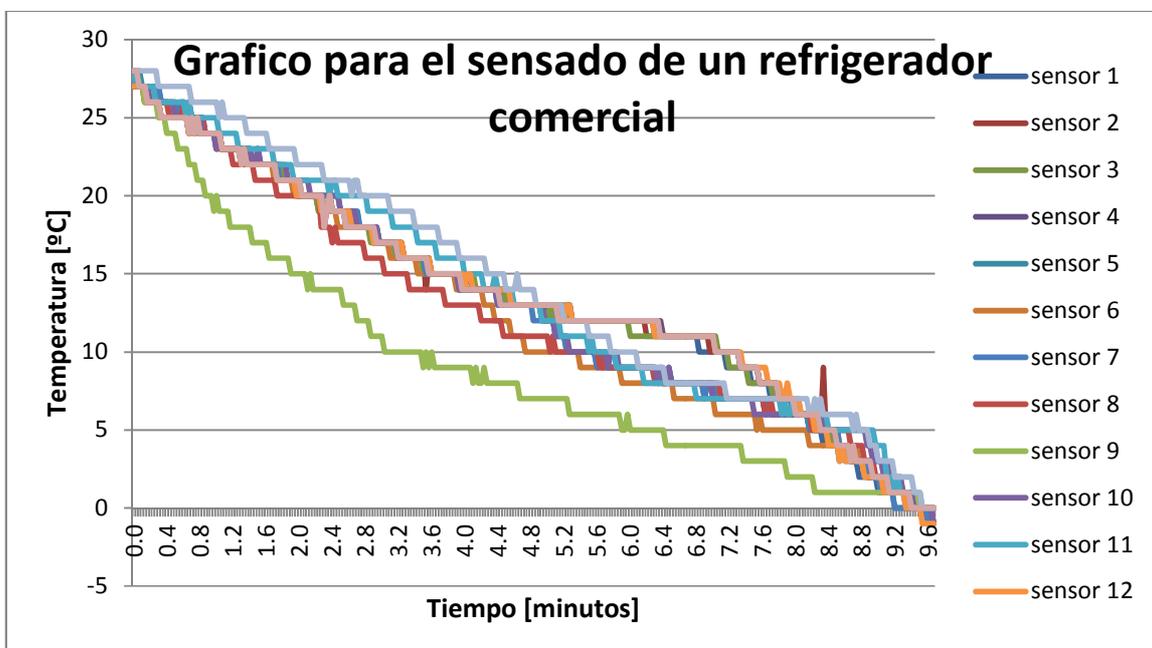


Figura 49 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto por la parte de arriba, rojo calor, azul frio.

Con los datos de las tablas 10 y 11 (apéndice A) se observa que la mejor configuración es la segunda ya que es la que tarda menos tiempo en estabilizarse y tiene un ahorro de 1 minutos con 57 segundos los cuales se pueden ver reflejados en el ahorro de energía eléctrica.

Se aplica las mismas mediciones a un refrigerador comercial el cual arroja los datos de la tabla 12 y en la gráfica 3 representa los datos de la tabla 12 (apéndice A).



Grafica 3 Grafica de los valores de la tabla 12.

Analizando la tabla 12 (apéndice A) y sabiendo que se midió la temperatura cada 2 segundos se observa que tarda 9 minutos con 42 segundos lo cual es menor que la mejor configuración del banco de pruebas pero vale la pena aclarar que no siempre están en operación los tres compresores.

Las figuras 50 y 51 representa la distribución de calor dentro del espacio refrigerado obtenido al analizar la tabla 12 (apéndice A) para un refrigerador comercial doméstico.

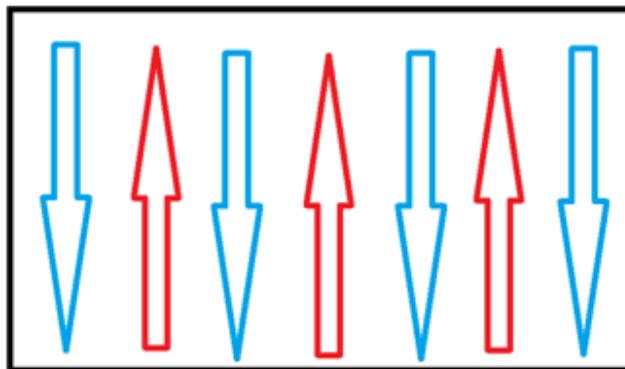
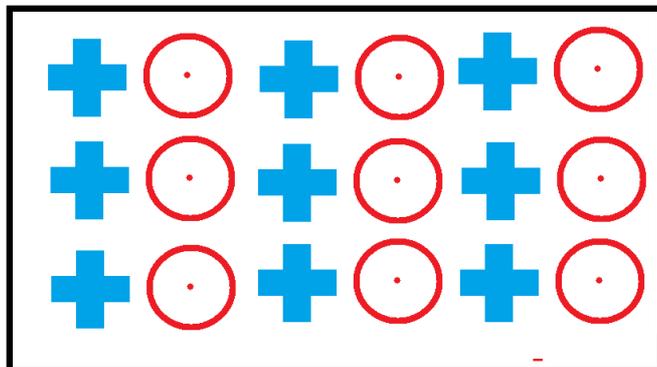


Figura 50 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto de frente.



Parte frontal

Figura 51 Distribución de calor dentro del espacio refrigerado visto por la parte de arriba.

Realizándole las mediciones al banco de prueba pero ahora tomando en cuenta el tiempo en que tardan en funcionamiento cada uno de los compresores la segunda configuración arrojan los siguientes datos:

Durante 7 minutos con 9 segundos quedan encendidos los tres compresores, con un consumo de 3.05 A, el consumo de energía es de 43.676 V*A.

Durante 2 minutos con 30 segundos quedan encendidos dos compresores, con un consumo de 2.02 A, el consumo de energía es de 10.1 V*A.

Durante 2 minutos con 37 segundos queda encendido solo 1 compresor, con un consumo de 1.01 A, el consumo de energía es de 2.65 V*A.

A lo cual la suma total de gasto de energía en el banco de pruebas es de 56.43 V*A.

Para el refrigerador comercial se midió un tiempo de 9 minutos con 42 segundos para llegar a la estabilidad de cero grados centígrados en el espacio refrigerado con una corriente de 3.25 A teniendo un consumo de energía de 63.18 V*A.

Donde se nota al comparar los consumos de energía de ambos sistemas, se tiene un ahorro de 6.75 V*A.

En la facturación de energía eléctrica toman la escala para medir el consumo como W/h cambiando los consumos de energía de ambos sistemas nos queda que para el sistema propuesto tiene un consumo de 275.4 W/h y para el refrigerador convencional doméstico se tiene un consumo de 390.6 W/h comparando estos valores se observa que se tiene un ahorro en la facturación de energía eléctrica de 29.5%.

CAPÍTULO V

Conclusiones

1. Se concluye que el control de temperatura en un refrigerador se hace más eficiente si se cambia el termostato tradicional de bulbo por un controlador de temperaturas electrónico por qué se puede sentir la temperatura en cada lugar al interior del refrigerador y no solo en el evaporador como se ha hecho hasta ahora.
2. Se comprobó la hipótesis planteada al inicio de este trabajo, que dice que al cambiar un ciclo de refrigeración por tres ciclos de refrigeración independiente controlados por un sensor de temperatura al interior del espacio refrigerado se obtiene un ahorro de energía de casi 30% en la facturación de energía eléctrica.
3. Con los valores obtenidos al calcular los COPs se comprueba que los sistemas utilizados son eficientes, por lo tanto las mediciones realizadas en este trabajo son útiles y reales, en la literatura refiere que para un sistema de este orden el COP son mayores de 3.

COP_{RC}	COP_{C1}	COP_{C2}	COP_{C3}	COP_{RCD}
3.601	3.299	3.35	3	3.23

1. Sacrificando parte del área de congelamiento por una mayor área de conservación de alimentos, Se tiene un mayor ahorro de energía al tomar el sistema propuesto con la segunda configuración y un control temperatura distribuido en cada una de las secciones (apéndice C) por todo el refrigerador, por la razón que el refrigerador solo usara la energía exacta para desalojar el calor y llegar a la temperatura deseada en un punto determinado dentro del refrigerador.
2. Al adquirir un refrigerador como se propone en este trabajo hace que el valor del refrigerador aumente un estimado de 25 por ciento el precio del refrigerador comercial pero se verá un ahorro significativo en el recibo de la energía eléctrica, pues el refrigerador es uno de los electrodomésticos que tienen mayor consumo de energía, ya que su funcionamiento es intermitente durante las 24 horas del día.

Apéndice A

Tabla 10 se muestra los datos obtenidos en la aplicación de la prueba sentido de temperaturas al interior del espacio refrigerado para la primera configuración.

SENSORES[C]														
min	sen													
.	sor													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0.0	28	28	28	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28	28
0.0	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28
0.1	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	28	27
0.1	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27	28	27
0.1	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	28	27
0.2	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	28	27
0.2	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	28	27
0.2	23	23	23	23	23	23	23	23	27	27	27	27	28	27
0.3	24	24	24	24	24	24	24	24	26	27	26	27	28	26
0.3	23	23	23	23	23	23	23	23	26	27	26	27	27	26
0.3	23	23	23	23	23	23	23	23	26	26	26	26	27	26
0.4	24	24	24	24	24	24	24	24	26	26	26	26	27	26
0.4	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	27	26
0.4	23	23	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	27	26
0.5	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	27	26
0.5	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	27	26
0.5	23	23	22	22	22	22	22	22	25	25	25	25	27	25
0.6	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	27	26
0.6	21	21	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	27	26
0.6	21	21	22	22	22	22	22	22	25	25	25	25	27	25
0.7	21	21	22	22	22	22	22	22	25	26	25	25	27	25
0.7	21	21	21	21	22	21	22	22	25	25	25	25	26	25
0.7	20	20	21	21	22	21	21	21	25	25	25	25	26	25
0.8	21	21	21	21	21	21	21	21	25	25	25	25	26	25
0.8	21	21	21	21	21	21	21	21	25	25	25	25	26	25
0.8	20	20	21	21	20	20	21	21	25	25	25	25	26	25
0.9	20	20	21	21	20	20	20	20	24	24	24	24	26	24
0.9	20	20	20	20	20	20	20	20	24	24	24	24	26	24
0.9	20	20	20	20	20	20	20	20	24	24	24	24	26	24
1.0	19	19	20	20	19	19	19	19	24	24	24	24	26	24
1.0	19	19	20	20	19	19	20	20	24	24	24	24	26	23
1.0	19	19	19	19	19	19	19	19	23	23	23	23	25	23
1.1	19	19	19	19	19	19	19	19	23	23	23	23	26	24

1.1	18	18	19	19	18	18	19	19	23	23	23	23	25	22
1.1	18	18	19	19	18	18	19	19	23	23	23	23	25	22
1.2	18	18	19	19	18	18	18	18	23	23	23	23	25	22
1.2	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	25	22
1.2	18	18	19	19	18	18	18	18	22	22	22	22	25	22
1.3	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	25	22
1.3	19	19	18	18	19	18	18	18	22	22	22	22	25	22
1.3	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	25	22
1.4	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	24	22
1.4	17	17	17	17	17	17	18	18	21	22	21	22	24	21
1.4	17	17	17	17	17	17	17	17	21	22	21	22	24	21
1.5	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	24	21
1.5	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	24	21
1.5	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	24	21
1.6	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	24	21
1.6	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	24	20
1.6	17	17	17	17	17	17	16	16	21	21	21	21	23	20
1.7	16	16	17	17	17	17	16	16	21	21	21	21	23	20
1.7	17	17	17	17	17	17	16	16	21	21	21	21	23	20
1.7	17	17	17	17	16	16	16	16	20	20	20	20	23	19
1.8	16	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20	23	19
1.8	16	16	17	17	16	16	16	16	20	20	20	20	23	19
1.8	16	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20	23	19
1.9	16	16	16	16	15	15	16	16	20	20	20	20	23	19
1.9	16	16	16	16	15	15	15	15	20	20	20	20	23	18
1.9	16	16	16	16	15	15	15	15	20	20	20	20	23	19
2.0	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	22	18
2.0	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	22	18
2.0	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	22	18
2.1	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	22	18
2.1	15	15	16	16	14	14	14	14	19	19	19	19	22	17
2.1	15	15	15	15	14	14	15	15	19	19	19	19	22	17
2.2	15	15	15	15	14	14	14	14	19	19	19	19	22	17
2.2	15	15	15	15	14	14	14	14	19	19	19	19	22	17
2.2	15	15	15	15	14	14	14	14	19	19	19	19	22	17
2.3	15	15	15	15	14	14	14	14	18	18	18	18	22	17
2.3	15	15	15	15	13	14	14	14	18	18	18	18	21	17
2.3	15	15	15	15	14	14	14	14	18	18	18	18	21	17
2.4	15	15	15	15	13	13	14	14	18	18	18	18	21	17
2.4	15	15	15	15	14	14	14	14	17	17	17	17	21	17
2.4	15	15	15	15	14	14	14	14	18	18	18	18	21	17
2.5	15	15	15	15	13	13	14	14	17	17	17	17	21	16
2.5	15	15	15	15	13	13	14	14	17	17	17	17	21	17

2.5	15	15	15	15	13	13	13	13	17	17	17	17	21	16
2.6	14	14	14	14	13	13	13	13	17	17	17	17	21	16
2.6	14	14	15	15	12	12	13	13	17	17	17	17	21	16
2.6	15	15	14	14	12	12	13	13	17	17	17	17	20	16
2.7	14	14	15	15	12	12	13	13	17	17	17	17	21	16
2.7	14	14	14	14	12	12	12	12	17	17	17	17	21	16
2.7	14	14	14	14	12	12	12	12	17	17	17	17	20	16
2.8	14	14	14	14	12	12	12	12	16	17	16	17	20	16
2.8	14	14	14	14	11	11	12	12	16	16	16	16	20	16
2.8	14	14	14	14	11	11	12	12	16	16	16	16	20	15
2.9	14	14	14	14	11	11	11	11	16	16	16	16	20	15
2.9	14	14	14	14	11	11	11	11	16	16	16	16	20	15
2.9	14	14	14	14	11	11	11	11	16	16	16	16	20	15
3.0	14	14	14	14	10	10	11	11	16	16	16	16	20	15
3.0	13	13	14	14	10	10	11	11	16	15	16	15	20	15
3.0	13	13	14	14	10	10	10	10	15	15	15	15	20	15
3.1	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	20	15
3.1	13	13	14	14	10	10	10	10	15	15	15	15	19	15
3.1	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	19	15
3.2	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	19	15
3.2	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	19	15
3.2	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	19	15
3.3	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	19	14
3.3	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	19	15
3.3	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	19	14
3.4	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	19	15
3.4	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	18	14
3.4	13	13	13	13	9	9	10	10	14	14	14	14	18	14
3.5	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	18	14
3.5	13	13	13	13	9	9	10	9	14	14	14	14	18	14
3.5	13	13	13	13	9	10	9	10	14	14	14	14	18	14
3.6	12	12	13	13	9	10	9	9	14	14	14	14	18	14
3.6	12	12	13	13	9	9	9	10	14	14	14	13	18	14
3.6	12	12	12	12	9	10	9	10	14	14	14	14	18	14
3.7	12	12	13	13	9	10	9	10	13	14	13	13	18	14
3.7	12	12	13	13	9	9	9	9	13	13	13	13	17	14
3.7	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	14
3.8	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	13
3.8	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	14
3.8	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	13
3.9	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	13
3.9	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	13
3.9	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	13

4.0	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	17	13
4.0	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	16	13
4.0	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	16	13
4.1	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	16	13
4.1	12	12	12	12	9	9	8	8	13	13	13	13	16	13
4.1	12	12	12	12	8	8	9	9	13	13	13	13	16	13
4.2	11	11	11	11	8	8	8	8	13	13	13	12	16	13
4.2	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	16	13
4.2	11	11	12	12	8	8	9	9	12	12	12	12	16	13
4.3	11	11	12	12	8	8	8	8	12	12	12	12	15	13
4.3	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	15	13
4.3	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	15	12
4.4	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	15	12
4.4	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	15	12
4.4	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	15	12
4.5	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	15	11
4.5	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	15	11
4.5	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	15	12
4.6	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	14	12
4.6	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	14	11
4.6	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	15	11
4.7	11	11	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	14	11
4.7	11	11	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	14	11
4.7	10	10	11	11	8	8	7	7	11	11	11	11	14	11
4.8	11	11	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	14	11
4.8	10	10	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	14	11
4.8	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	14	11
4.9	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	14	11
4.9	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	13	11
4.9	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	13	11
5.0	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	13	11
5.0	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	13	11
5.0	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	13	11
5.1	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	13	11
5.1	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	13	11
5.1	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	13	10
5.2	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	13	10
5.2	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	12	10
5.2	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	12	10
5.3	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10
5.3	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10
5.3	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10
5.4	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10

5.4	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10
5.4	10	9	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10
5.5	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	12	10
5.5	9	9	10	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.5	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.6	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.6	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.6	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.7	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.7	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	11	10
5.7	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	9	11	10
5.8	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	9	10	9
5.8	9	9	9	9	6	6	6	6	10	9	10	9	10	10
5.8	9	9	9	9	6	6	6	6	9	10	9	9	10	9
5.9	8	9	9	9	5	5	6	6	9	10	9	9	10	9
5.9	8	9	9	9	5	5	5	5	9	9	9	9	10	9
5.9	8	9	9	9	5	5	5	5	9	9	9	9	10	9
6.0	8	9	9	9	5	5	6	6	9	9	9	9	10	9
6.0	8	9	9	9	5	5	5	5	9	9	9	9	10	9
6.0	8	9	9	9	5	5	5	5	9	9	9	9	10	9
6.1	8	8	9	9	5	5	5	5	9	9	9	9	10	9
6.1	8	8	9	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
6.1	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
6.2	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
6.2	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
6.2	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	8	9	9
6.3	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
6.3	8	8	8	8	4	4	5	5	9	9	9	9	9	9
6.3	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
6.4	8	8	8	8	4	4	5	5	8	8	8	8	9	9
6.4	8	8	8	8	5	5	5	5	8	8	8	8	9	9
6.4	8	8	8	8	5	5	4	4	8	8	8	8	8	8
6.5	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.5	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.5	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.6	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.6	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.6	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.7	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.7	8	8	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.7	8	8	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.8	7	7	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.8	7	7	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8

6.8	7	7	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.9	7	7	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.9	7	7	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
6.9	7	7	7	7	3	4	4	4	8	8	8	8	8	8
7.0	7	7	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
7.0	7	7	7	7	3	4	4	4	8	8	8	8	8	8
7.0	7	7	7	7	3	3	4	4	8	8	8	8	8	8
7.1	7	7	7	7	3	3	3	3	7	8	7	8	8	8
7.1	7	7	7	7	3	3	3	3	7	8	7	8	8	8
7.1	7	7	7	7	3	3	3	3	7	8	7	8	8	8
7.2	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	8
7.2	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.2	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.3	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.3	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.3	6	6	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.4	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.4	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.4	6	6	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7
7.5	6	6	6	6	3	3	3	3	7	7	7	7	8	7
7.5	6	6	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7
7.5	6	6	7	7	2	2	3	3	7	7	7	7	8	7
7.6	6	6	6	6	2	2	3	3	7	7	7	7	7	7
7.6	6	6	6	6	2	2	2	2	7	7	7	7	8	7
7.6	6	6	6	6	2	2	2	2	6	6	6	6	7	7
7.7	6	6	6	6	2	2	2	2	7	7	7	7	7	7
7.7	6	6	6	6	2	2	2	2	7	7	7	7	8	7
7.7	6	6	6	6	2	2	2	2	6	6	6	6	7	7
7.8	6	6	6	6	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
7.8	6	6	6	6	2	2	2	2	6	6	6	6	7	7
7.8	6	6	6	6	2	2	2	2	6	6	6	6	7	7
7.9	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
7.9	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
7.9	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
8.0	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
8.0	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
8.0	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
8.1	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	6	7	6
8.1	5	5	5	5	2	2	2	2	6	6	6	5	7	6
8.1	5	5	5	5	1	1	2	2	6	6	6	5	7	6
8.2	5	5	5	5	2	2	2	2	5	5	5	5	6	5
8.2	5	5	5	5	1	1	2	2	5	5	5	5	6	5
8.2	5	5	5	5	2	2	1	1	5	5	5	5	7	5

8.3	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.3	5	5	5	5	2	2	1	1	5	5	5	5	7	5
8.3	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.4	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.4	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.4	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.5	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.5	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.5	5	5	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.6	4	4	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.6	5	5	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.6	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.7	5	5	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.7	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.7	5	5	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.8	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	5
8.8	5	5	4	4	1	1	1	1	4	4	4	4	5	4
8.8	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	4	4
8.9	4	4	4	4	1	1	1	1	4	4	4	4	5	5
8.9	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	6	4
8.9	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.0	4	4	4	4	1	1	0	0	5	5	5	5	5	4
9.0	4	4	4	4	1	1	0	0	4	4	4	4	5	4
9.0	4	4	4	4	0	0	0	0	5	5	5	5	5	4
9.1	3	3	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.1	4	4	4	4	0	0	0	0	5	5	5	5	5	4
9.1	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.2	3	3	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.2	3	3	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.2	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.3	3	3	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.3	4	4	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.3	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.4	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	5	4
9.4	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.4	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.5	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	5	4
9.5	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	5	4
9.5	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	5	4
9.6	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	5	4
9.6	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	5	3
9.6	3	3	3	3	-1	0	0	0	3	3	3	3	5	3
9.7	3	3	3	3	-1	0	0	0	3	3	3	3	5	3

9.7	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	5	3
9.7	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	5	3
9.8	3	3	3	3	-1	-1	0	0	3	3	3	3	4	3
9.8	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
9.8	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
9.9	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
9.9	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
9.9	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.0	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.0	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.0	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.1	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.1	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.1	3	3	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.2	2	2	3	3	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.2	3	3	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.2	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	2	3	2	4	2
10.3	3	3	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	4	2
10.3	2	2	2	2	-2	-2	-1	-1	3	2	3	2	4	2
10.3	3	3	2	2	-2	-2	-1	-1	2	2	2	2	4	2
10.4	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.4	3	3	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	4	2
10.4	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.5	2	2	2	2	-2	-2	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.5	2	2	2	2	-2	-2	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.5	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.6	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.6	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2

6														
10.6	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	3	3
10.7	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.7	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	3	3	3	3	4	3
10.7	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.8	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.8	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.8	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.9	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.9	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
10.9	2	2	2	2	-2	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
11.0	2	2	2	2	-2	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
11.0	1	1	2	2	-2	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	1
11.0	2	2	2	2	-2	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
11.1	1	1	2	2	-2	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	1
11.1	2	2	2	2	-2	-1	-1	-1	2	2	2	2	3	2
11.1	1	1	2	2	-2	-2	-1	-1	2	2	2	2	3	1
11.2	1	1	2	2	-2	-2	-1	-1	2	2	2	2	3	1
11.2	1	1	2	2	-2	-2	-2	-2	2	2	2	2	3	1
11.2	1	1	2	2	-2	-2	-2	-2	2	2	2	2	3	1
11.3	2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	2	2	2	2	3	2
11.3	2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	3	2
11.3	2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	2	2	2	2	3	2
11.4	2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	3	2
11.	2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	2	2	2	2	3	2

4														
11.4	1	1	2	2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.5	1	1	2	2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.5	1	1	2	2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.5	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.6	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.6	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.6	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.7	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.7	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.7	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.8	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.8	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.8	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.9	1	1	1	1	-2	-2	-1	-1	1	1	1	1	2	1
11.9	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
11.9	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.0	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.0	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.0	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.1	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.1	1	1	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.1	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	0
12.2	1	1	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
12.	0	0	1	1	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	0

2														
12.	1	1	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	1
2														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	1	0
3														
12.	1	1	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	1	1
3														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	2	0
3														
12.	1	1	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	1	1
4														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	1	1	1	2	0
4														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	1	0	1	2	0
4														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	1	0
5														
12.	1	1	0	0	-2	-2	-2	-2	0	1	0	1	1	1
5														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	0	1	1	0
5														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	0	1	1	0
6														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	1	0	1	1	0
6														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	1	0	0	1	1	0
6														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	1	1	0
7														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
7														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
7														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
8														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
8														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
9														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
9														
12.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
9														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
0														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0

0														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
0														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
1														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
1														
13.	-1	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
1														
13.	-1	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
2														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
2														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
2														
13.	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
3														
13.	0	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	0
3														
13.	-1	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
3														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
4														
13.	-1	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
4														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
4														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
5														
13.	-1	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
5														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
5														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
6														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
6														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
7														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
7														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
8														
13.	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1

8														
13.8	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
13.9	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
13.9	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
13.9	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.0	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-2
14.0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.2	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1
14.2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1
14.2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	1	-1
14.3	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1
14.3	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1
14.3	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1
14.4	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1
14.4	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	-1

Tabla 10 Datos recopilados en la medición de temperatura para la primera configuración.

Tabla 11 se muestra los datos obtenidos en la aplicación de la prueba sensado de temperaturas al interior del espacio refrigerado para la segunda configuración.

mi n.	SENSORES[C]													
	sen sor 1	sen sor 2	sen sor 3	sen sor 4	sen sor 5	sen sor 6	sen sor 7	sen sor 8	sen sor 9	sen sor 10	sen sor 11	sen sor 12	sen sor 13	sen sor 14
0.0	28	27	28	28	27	27	27	27	28	28	27	28	28	28

0.0	28	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27	28	27	28
0.1	27	27	27	26	27	27	27	27	27	28	27	28	27	28
0.1	27	27	27	25	26	27	27	26	27	27	27	27	27	28
0.1	27	27	27	24	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28
0.2	27	27	26	24	26	26	26	26	26	27	27	27	27	28
0.2	26	26	26	24	26	26	26	26	26	27	26	27	27	28
0.2	26	26	26	23	26	26	26	26	26	27	26	27	27	28
0.3	26	26	26	24	26	26	26	26	26	27	26	27	26	28
0.3	26	26	26	23	26	26	26	25	26	27	26	27	26	27
0.3	25	26	25	23	25	25	25	25	25	26	26	26	26	27
0.4	25	26	25	24	25	25	25	25	25	26	26	26	26	27
0.4	25	26	25	22	25	25	25	25	25	26	26	26	26	27
0.4	25	25	25	22	25	25	25	25	25	26	26	26	26	27
0.5	25	25	25	22	25	25	25	25	25	26	25	26	26	27
0.5	25	25	25	22	25	25	25	25	25	26	25	26	26	27
0.5	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	25	25	26	27
0.6	25	25	25	22	25	25	25	25	25	26	25	26	26	27
0.6	25	25	25	22	25	25	25	25	25	26	25	26	26	27
0.6	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27
0.7	25	25	24	22	24	24	24	25	24	26	25	26	26	27
0.7	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26
0.7	25	25	24	21	24	24	24	24	24	25	25	25	25	26
0.8	25	25	25	21	25	25	25	25	25	25	24	25	25	26
0.8	25	25	24	21	24	24	24	25	24	25	25	25	25	26
0.8	24	24	24	21	24	24	24	24	24	25	24	25	25	26
0.9	24	24	24	20	24	24	24	24	24	24	24	24	25	26
0.9	24	24	24	20	24	24	24	24	24	24	24	24	25	26
0.9	24	24	24	20	24	24	24	24	24	24	24	24	25	26
1.0	24	24	24	19	24	24	24	24	24	24	24	24	25	26
1.0	24	23	23	20	24	24	24	24	24	24	23	23	25	26
1.0	24	24	23	19	24	24	24	24	24	23	24	24	24	25
1.1	24	23	23	19	23	23	23	24	23	23	23	23	24	26
1.1	23	23	23	19	23	23	23	24	23	23	23	23	24	25
1.1	23	23	23	19	23	23	23	23	23	23	23	23	24	25
1.2	23	23	23	18	23	23	23	23	23	23	23	23	24	25
1.2	23	23	23	18	23	23	23	23	23	22	23	23	24	25
1.2	23	23	23	18	23	23	23	23	23	22	23	23	24	25
1.3	23	23	23	18	23	23	23	23	23	22	23	23	23	25
1.3	23	23	23	18	22	22	22	23	22	22	23	23	23	25
1.3	23	23	22	18	23	23	23	23	23	22	23	23	23	25
1.4	23	23	22	18	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24
1.4	23	23	23	18	22	22	22	23	22	22	23	23	23	24
1.4	22	22	22	17	22	22	22	22	22	22	22	22	23	24

1.5	22	22	22	17	22	22	22	22	22	21	22	22	23	24
1.5	23	23	22	17	22	22	22	22	22	21	23	23	23	24
1.5	22	22	22	17	22	22	22	22	22	21	22	22	23	24
1.6	22	22	22	17	22	22	22	22	22	21	22	22	23	24
1.6	22	22	22	17	22	22	22	22	22	21	22	22	23	24
1.6	22	22	22	16	22	22	22	22	22	21	22	22	23	23
1.7	22	22	22	16	22	22	22	22	22	21	22	22	23	23
1.7	22	22	21	16	22	22	22	22	22	21	22	22	22	23
1.7	22	22	21	16	21	21	21	22	21	20	22	22	22	23
1.8	22	22	21	16	21	21	21	22	21	20	22	22	22	23
1.8	21	22	21	16	21	21	21	21	21	20	22	22	22	23
1.8	22	22	21	16	21	21	21	21	21	20	22	22	22	23
1.9	21	21	21	16	21	21	21	21	21	20	21	21	22	23
1.9	21	21	21	15	21	21	21	21	21	20	21	21	22	23
1.9	21	21	20	15	21	21	21	21	21	20	21	21	21	23
2.0	21	21	20	15	20	20	20	21	20	20	21	21	21	22
2.0	21	21	20	15	20	20	20	21	20	20	21	20	21	22
2.0	21	21	20	15	20	20	20	20	20	20	21	20	21	22
2.1	20	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	20	21	22
2.1	20	20	20	14	20	20	20	20	20	20	20	20	21	22
2.1	20	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	20	21	22
2.2	20	20	20	14	20	20	20	20	20	20	20	20	21	22
2.2	20	20	20	14	20	20	20	20	20	20	20	20	21	22
2.2	20	20	20	14	20	20	19	19	20	20	20	20	21	22
2.3	20	20	20	14	19	19	19	19	20	20	20	20	21	22
2.3	20	20	19	14	18	19	19	19	18	18	20	20	21	21
2.3	20	20	19	14	19	19	19	19	19	18	20	20	21	21
2.4	20	20	19	14	20	20	20	20	20	18	20	20	20	21
2.4	19	20	19	14	19	19	19	19	19	17	20	20	21	21
2.4	19	20	19	14	19	19	19	19	19	18	20	20	21	21
2.5	19	20	19	14	19	19	19	19	19	17	20	20	20	21
2.5	19	20	19	14	19	19	19	19	19	17	19	19	20	21
2.5	19	19	18	13	19	19	19	19	19	17	19	19	20	21
2.6	19	19	18	13	19	19	19	19	18	17	19	19	20	21
2.6	19	19	18	13	19	19	19	19	18	17	19	19	20	21
2.6	18	19	18	13	18	18	18	18	18	17	19	19	20	20
2.7	18	19	18	13	18	18	18	18	18	17	19	19	20	21
2.7	18	18	18	12	18	18	18	18	18	17	18	19	20	21
2.7	18	18	18	12	18	18	18	18	18	17	18	18	20	20
2.8	18	18	18	12	18	18	18	18	18	17	18	18	20	20
2.8	18	18	18	12	18	18	18	18	18	16	18	18	20	20
2.8	18	18	18	12	18	18	18	18	18	16	18	18	19	20
2.9	18	18	18	11	18	18	18	18	18	16	18	18	19	20

2.9	18	18	17	11	18	17	17	18	18	16	18	18	19	20
2.9	18	18	17	11	17	17	18	17	17	16	18	18	19	20
3.0	18	17	17	11	17	17	17	17	17	16	17	17	19	20
3.0	17	17	17	11	17	17	17	17	17	16	17	17	19	20
3.0	17	17	17	10	17	17	17	17	17	15	17	17	19	20
3.1	17	17	17	10	17	17	17	17	17	15	17	17	19	20
3.1	17	17	16	10	17	17	17	17	17	15	17	17	19	19
3.1	17	17	16	10	17	17	17	17	17	15	17	17	18	19
3.2	17	17	16	10	17	17	17	16	17	15	17	17	18	19
3.2	17	17	16	10	16	17	17	16	16	15	16	16	18	19
3.2	16	16	16	10	16	17	17	16	16	15	16	16	18	19
3.3	16	16	16	10	16	16	16	16	16	15	16	16	18	19
3.3	16	16	16	10	16	16	16	16	16	15	16	16	18	19
3.3	16	16	16	10	16	16	16	16	16	14	16	16	18	19
3.4	16	16	16	10	16	16	16	16	16	14	16	16	18	19
3.4	16	16	16	10	16	16	16	16	16	14	16	16	18	18
3.4	16	16	15	10	16	16	16	16	16	14	16	16	17	18
3.5	16	16	15	10	16	16	16	16	16	14	16	16	17	18
3.5	16	16	15	9	16	16	16	15	16	14	16	16	17	18
3.5	16	16	15	10	16	16	14	15	16	14	16	15	17	18
3.6	15	15	15	9	15	16	16	15	15	14	15	15	17	18
3.6	15	15	15	10	15	15	15	15	15	14	15	15	17	18
3.6	15	15	15	9	15	15	15	15	15	14	15	15	17	18
3.7	15	15	15	9	15	15	15	15	15	14	15	15	16	18
3.7	15	15	15	9	15	15	15	15	15	14	15	15	16	17
3.7	15	15	15	9	15	15	15	15	15	14	15	15	16	17
3.8	15	15	15	9	15	15	15	15	15	13	15	15	16	17
3.8	15	15	15	9	15	15	15	15	15	13	15	15	16	17
3.8	15	15	15	9	15	15	15	15	15	13	15	15	16	17
3.9	15	15	15	9	15	15	15	15	15	13	15	15	16	17
3.9	15	15	14	9	15	15	15	15	15	13	15	15	16	17
3.9	15	14	14	9	15	15	14	15	15	13	14	14	16	16
4.0	15	14	14	9	15	15	15	15	14	13	14	14	16	16
4.0	14	14	14	9	14	14	14	15	14	13	14	14	15	16
4.0	14	14	14	9	15	15	15	15	14	13	14	14	15	16
4.1	14	14	14	9	14	15	15	15	14	13	14	14	15	16
4.1	14	14	14	8	14	14	14	15	14	13	14	14	15	16
4.1	14	14	14	9	14	14	14	14	14	13	14	14	15	16
4.2	14	14	14	8	14	14	14	14	14	13	14	14	15	16
4.2	14	14	14	8	14	14	14	14	14	12	14	14	15	16
4.2	14	14	13	9	14	14	14	14	14	12	14	14	14	16
4.3	14	14	13	8	14	14	14	14	14	12	14	14	14	15
4.3	14	14	13	8	14	14	14	14	14	12	14	14	14	15

4.3	14	14	13	8	14	14	14	14	14	12	14	14	14	15
4.4	14	14	12	8	14	14	14	14	14	12	14	14	15	15
4.4	13	13	12	8	14	14	14	14	14	12	13	13	14	15
4.4	13	13	12	8	14	14	14	14	13	12	13	13	14	15
4.5	13	13	12	8	14	14	14	14	13	12	13	13	14	15
4.5	13	13	12	8	14	14	13	13	13	12	13	13	14	14
4.5	13	13	12	8	14	14	13	13	13	11	13	13	14	14
4.6	13	13	11	8	13	13	13	13	13	11	13	13	14	14
4.6	13	13	11	8	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.6	13	13	11	8	13	13	13	13	13	11	13	13	13	15
4.7	13	13	11	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.7	13	13	11	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.7	13	13	10	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.8	13	13	10	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.8	13	13	10	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.8	13	13	10	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	14
4.9	13	13	10	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	13
4.9	13	13	10	7	13	13	13	13	13	11	13	13	13	13
4.9	12	12	10	7	13	13	13	13	13	11	12	12	12	13
5.0	12	12	10	7	13	13	13	12	13	11	12	12	12	13
5.0	12	12	10	7	13	13	13	12	13	11	12	12	12	13
5.0	12	12	10	7	13	13	13	13	13	10	12	12	12	13
5.1	12	12	10	7	13	13	13	12	13	11	12	12	12	13
5.1	11	11	10	7	13	13	13	13	12	10	11	11	12	13
5.1	11	11	10	7	13	13	12	13	12	10	11	11	12	13
5.2	11	11	10	7	13	13	13	12	12	10	11	11	12	13
5.2	11	11	10	7	12	12	12	12	12	10	11	11	12	12
5.2	11	11	10	7	13	13	13	12	12	10	11	10	11	12
5.3	10	10	10	6	13	13	13	12	12	10	10	10	11	12
5.3	10	10	10	6	12	12	12	12	12	10	10	10	11	12
5.3	10	10	10	6	12	12	12	12	12	10	10	10	11	12
5.4	10	10	10	6	12	12	12	12	12	10	10	10	11	12
5.4	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	11	12
5.4	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	11	12
5.5	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	11	12
5.5	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	10	11
5.5	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	10	11
5.6	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	10	11
5.6	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	10	11
5.6	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	10	11
5.7	10	10	9	6	12	12	12	12	12	9	10	10	10	11
5.7	10	10	9	6	12	12	12	12	12	10	10	10	10	11
5.7	9	9	9	6	12	12	12	12	12	9	9	9	10	11

5.8	10	9	9	6	12	12	12	12	12	9	10	9	10	10
5.8	9	9	9	6	12	12	12	12	12	9	9	9	10	10
5.8	10	10	8	6	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
5.9	9	9	9	6	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
5.9	9	9	8	5	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
5.9	9	9	8	5	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
6.0	9	9	8	6	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
6.0	9	9	8	5	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
6.0	9	9	8	5	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
6.1	9	9	8	5	12	12	12	12	12	9	9	9	9	10
6.1	9	9	8	5	12	12	12	12	12	9	9	9	9	9
6.1	9	9	8	5	12	12	12	11	12	9	9	9	9	9
6.2	9	9	8	5	12	12	12	11	12	9	9	9	8	9
6.2	9	9	8	5	12	12	11	11	12	9	9	9	8	9
6.2	9	9	8	5	12	12	11	11	12	9	9	9	8	9
6.3	9	9	8	5	12	12	11	11	12	9	9	9	8	9
6.3	9	9	8	5	11	11	11	11	12	8	9	9	8	9
6.3	8	8	8	5	11	11	11	11	11	9	8	8	8	9
6.4	9	9	8	5	11	11	11	11	11	8	9	9	8	9
6.4	8	8	8	5	11	11	11	11	11	8	8	8	8	9
6.4	8	8	8	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.5	9	9	7	4	11	11	11	11	11	8	9	9	8	8
6.5	8	8	8	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.5	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.6	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.6	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.6	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.7	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.7	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.7	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.8	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8
6.8	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	7	8
6.8	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	7	8
6.9	8	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	8	7	8
6.9	7	8	7	4	11	11	11	11	11	8	8	7	7	8
6.9	7	8	7	4	11	11	11	11	11	8	7	8	7	8
7.0	7	7	7	4	11	11	11	11	11	8	7	7	7	8
7.0	7	7	7	4	11	11	11	11	11	8	7	7	7	8
7.0	7	7	6	4	11	11	11	11	11	8	7	7	7	8
7.1	7	7	6	4	11	11	11	10	11	8	7	7	7	8
7.1	7	7	6	4	11	11	11	10	11	8	7	7	7	8
7.1	7	7	6	4	11	11	11	10	10	8	7	7	7	8
7.2	7	7	6	4	11	11	10	10	10	7	7	7	7	7

7.2	7	7	6	4	11	11	11	10	10	7	7	7	7	7
7.2	7	7	6	4	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.3	7	7	6	4	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.3	7	7	6	4	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.3	7	7	6	4	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.4	7	7	6	3	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.4	7	7	6	3	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.4	7	7	6	3	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.5	7	7	6	3	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
7.5	6	6	6	3	10	10	10	10	10	7	6	7	7	7
7.5	6	6	6	3	10	10	10	9	10	7	6	7	7	7
7.6	6	6	5	3	10	10	10	10	10	7	6	7	7	7
7.6	6	6	5	3	10	10	10	9	10	7	6	7	7	7
7.6	6	6	5	3	10	10	10	9	10	6	6	6	7	7
7.7	6	6	5	3	10	10	10	9	10	7	6	7	7	7
7.7	6	6	5	3	10	10	10	9	10	7	6	6	7	7
7.7	6	6	5	3	10	10	10	9	10	6	6	6	7	7
7.8	6	6	5	3	9	9	9	9	9	6	6	6	7	7
7.8	6	6	5	3	10	10	10	9	10	6	6	6	7	7
7.8	6	6	5	3	9	9	9	9	9	6	6	6	6	7
7.9	6	6	5	3	9	9	9	9	9	6	6	6	7	7
7.9	6	6	5	2	9	9	9	9	9	6	6	6	6	7
7.9	6	6	5	2	9	9	9	9	9	6	6	6	6	7
8.0	6	6	5	2	9	9	9	9	9	6	6	6	7	7
8.0	6	6	5	2	9	9	9	9	9	6	6	6	6	7
8.0	6	6	5	2	9	9	9	8	9	6	6	6	7	7
8.1	6	6	5	2	9	9	9	8	9	6	6	5	6	7
8.1	6	6	5	2	9	9	9	8	9	6	6	5	6	7
8.1	5	6	5	2	9	9	9	8	9	6	6	5	6	7
8.2	5	6	5	2	9	9	9	8	9	5	6	5	6	6
8.2	6	6	5	2	9	9	9	8	9	5	6	5	6	6
8.2	5	6	4	1	9	9	9	8	9	5	6	5	6	7
8.3	5	6	4	1	9	9	9	8	9	5	6	5	6	6
8.3	5	6	4	1	9	9	9	8	9	5	5	5	6	7
8.3	5	5	4	1	9	9	9	8	9	5	5	5	6	6
8.4	5	5	4	1	8	8	8	7	8	5	5	5	6	6
8.4	5	5	4	1	8	8	8	7	8	5	5	5	5	6
8.4	5	5	4	1	8	8	8	8	8	5	5	5	5	6
8.5	5	5	4	1	8	8	8	7	8	5	5	5	5	6
8.5	5	5	4	1	8	8	8	7	8	5	5	5	5	6
8.5	5	5	4	1	8	8	8	7	8	5	5	5	5	6
8.6	5	5	4	1	8	8	8	7	7	5	5	5	5	6
8.6	5	5	4	1	8	8	8	7	7	5	5	5	5	6

8.6	5	5	4	1	8	8	8	7	8	5	5	5	5	6
8.7	4	5	4	1	8	8	8	7	7	5	5	4	5	6
8.7	4	5	4	1	7	7	7	7	7	5	5	4	5	5
8.7	4	5	4	1	8	8	8	7	7	5	5	5	5	6
8.8	4	5	3	1	8	8	8	7	7	5	5	4	5	5
8.8	4	5	3	1	7	7	7	7	7	4	5	5	5	5
8.8	4	5	3	1	7	7	7	7	7	5	5	4	5	6
8.9	4	4	3	1	7	7	7	7	7	4	4	4	5	5
8.9	4	4	3	1	7	7	7	7	7	5	4	4	5	5
8.9	4	4	3	1	7	7	7	7	7	4	4	5	5	5
9.0	4	4	3	1	7	7	7	6	7	5	4	4	5	5
9.0	4	4	3	1	7	7	7	6	7	4	4	4	5	5
9.0	4	4	3	1	7	7	7	6	7	5	4	4	5	5
9.1	4	4	3	1	7	7	7	6	6	4	4	4	5	5
9.1	4	4	3	1	7	7	7	6	6	5	4	4	5	5
9.1	4	4	3	1	7	7	6	6	6	4	4	4	5	5
9.2	4	4	3	1	7	7	6	6	6	4	4	4	5	5
9.2	4	4	3	1	7	7	6	6	6	4	4	4	5	5
9.2	4	4	3	1	6	6	6	6	6	4	4	4	5	5
9.3	4	4	3	1	6	6	6	6	6	4	4	3	5	5
9.3	3	4	2	1	6	6	6	6	6	4	4	4	5	5
9.3	3	4	2	1	6	6	6	6	6	4	4	4	5	5
9.4	3	4	2	1	6	6	6	6	6	3	4	3	5	5
9.4	3	4	2	1	6	6	6	6	6	4	4	3	4	5
9.4	3	4	2	1	6	6	6	6	6	4	4	3	4	5
9.5	3	3	2	0	6	6	6	5	6	3	3	3	4	5
9.5	3	3	2	1	6	6	6	6	6	3	3	3	4	5
9.5	3	3	2	0	6	6	6	5	6	4	3	3	4	5
9.6	3	3	2	0	6	6	6	5	6	3	3	3	4	5
9.6	3	3	2	0	6	6	6	5	6	4	3	3	4	5
9.6	3	3	2	0	6	6	5	6	5	3	3	3	4	5
9.7	3	3	2	0	6	6	5	5	5	3	3	3	4	4
9.7	3	3	2	0	6	6	5	5	5	3	3	3	4	4
9.7	3	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
9.8	3	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
9.8	3	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
9.8	2	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
9.9	2	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
9.9	2	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
9.9	2	3	2	1	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4
10.0	2	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	3	4
10.0	2	3	2	0	5	5	5	5	5	3	3	3	3	4

0														
10.0	2	2	1	0	5	5	5	5	4	3	2	3	3	4
10.0	2	2	2	0	5	5	5	5	4	3	2	3	3	4
10.1	2	2	1	0	5	5	5	5	5	3	2	3	3	4
10.1	2	2	1	0	5	5	5	4	4	3	2	3	3	4
10.2	2	2	1	0	4	4	4	4	4	3	2	3	3	4
10.2	2	2	1	0	4	4	4	4	4	3	2	2	3	4
10.2	2	2	1	0	4	4	4	4	4	2	2	2	3	4
10.3	2	2	1	0	4	4	4	4	4	2	2	2	3	4
10.3	2	2	1	0	4	4	4	4	4	2	2	2	3	3
10.3	2	2	1	0	4	4	4	4	4	2	2	2	3	3
10.4	2	2	1	0	4	4	4	4	4	3	2	2	3	3
10.4	2	2	1	0	4	4	4	4	3	2	2	2	3	3
10.4	2	2	1	0	4	4	4	4	3	3	2	2	3	3
10.5	1	2	1	0	4	4	3	3	3	2	2	2	3	3
10.5	1	2	1	0	4	4	3	3	3	3	2	2	3	3
10.5	1	2	1	0	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
10.6	1	2	1	0	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3
10.6	1	2	1	-1	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
10.6	1	2	1	-1	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3
10.7	1	2	1	-1	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
10.7	1	1	1	-1	3	3	3	3	3	3	1	2	3	4
10.7	1	2	0	-1	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
10.8	1	1	1	-1	3	3	3	3	3	2	1	2	3	3
10.	1	1	0	-1	3	3	3	3	2	2	1	2	3	3

8														
10.8	1	1	0	-1	3	3	2	2	3	2	1	2	3	3
10.9	1	1	0	-1	2	2	2	3	2	2	1	2	3	3
10.9	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	2	3	3
10.9	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3
11.0	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3
11.0	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3
11.0	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3
11.1	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3
11.1	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3
11.1	1	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3
11.2	0	1	0	-1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3
11.2	0	1	0	-2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	3
11.2	0	1	0	-2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	3
11.3	0	1	0	-2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	3
11.3	0	1	0	-2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3
11.4	0	1	0	-2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3
11.4	0	1	0	-2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3
11.4	0	1	0	-2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
11.5	0	1	0	-2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
11.5	0	1	-1	-2	1	1	0	0	1	1	1	1	2	2
11.5	0	1	-1	-2	1	1	1	0	1	1	1	1	2	2
11.6	0	1	-1	-2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	2
11.	0	0	-1	-2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	2

6														
11.	0	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2
6														
11.	0	0	-1	-2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	2
7														
11.	0	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	0	1	1	2
7														
11.	0	0	-1	-2	1	1	0	0	1	1	0	1	1	2
7														
11.	0	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	0	1	1	2
8														
11.	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	2
8														
11.	0	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
8														
11.	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
9														
11.	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
9														
11.	0	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
9														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
0														
12.	0	0	-1	-2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
0														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0														
12.	-1	0	-2	-2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1														
12.	-1	0	-2	-2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2														
12.	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3														
12.	-1	0	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3														
12.	-1	-1	-1	-2	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0
3														
12.	-1	-1	-2	-2	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0
4														
12.	-1	-1	-1	-2	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0

4														
12.4	-1	-1	-2	-2	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0

Tabla 11 Datos recopilados en la medición de temperatura para la segunda configuración.

Tabla 12 se muestra los datos obtenidos en la aplicación de la prueba sensado de temperaturas al interior del espacio refrigerado en un refrigerador comercial.

mi n.	SENSORES[C]														
	sen sor 1	sen sor 2	sen sor 3	sen sor 4	sen sor 5	sen sor 6	sen sor 7	sen sor 8	sen sor 9	sen sor 10	sen sor 11	sen sor 12	sen sor 13	sen sor 14	
0.0	28	27	27	28	28	28	28	27	28	28	28	27	28	28	
0.0	27	27	27	27	28	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28
0.1	27	27	27	27	28	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27
0.1	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27
0.1	27	26	27	27	27	27	27	27	26	27	27	27	27	28	27
0.2	26	26	27	26	27	26	27	27	26	27	27	26	28	26	
0.2	26	26	26	26	27	26	27	26	26	26	27	26	28	26	
0.2	26	26	26	26	27	26	27	26	26	26	27	26	28	26	
0.3	26	26	26	26	27	26	27	26	26	26	26	26	28	26	
0.3	26	26	26	26	27	26	27	26	25	26	26	26	27	26	
0.3	25	25	26	25	26	25	26	26	25	26	26	25	27	25	
0.4	25	25	26	25	26	25	26	26	25	26	26	25	27	25	
0.4	25	25	26	25	26	25	26	26	24	26	26	25	27	25	
0.4	25	25	25	25	26	25	26	25	24	26	26	25	27	25	
0.5	25	25	25	25	26	25	26	25	24	26	26	25	27	25	
0.5	25	25	25	25	26	25	26	25	24	25	26	25	27	25	
0.5	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	26	25	27	25	
0.6	25	25	25	25	26	25	26	25	23	25	26	25	27	25	
0.6	25	25	25	25	26	25	26	26	23	25	26	25	27	25	
0.6	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	25	25	27	25	
0.7	24	24	25	24	26	24	26	25	22	25	26	24	27	24	
0.7	25	25	25	25	25	24	25	25	22	25	25	25	26	25	
0.7	24	24	25	24	25	24	25	25	22	25	25	24	26	24	
0.8	25	25	25	25	25	25	25	25	21	24	25	25	26	25	
0.8	24	24	25	24	25	24	25	25	21	25	25	24	26	24	
0.8	24	24	24	24	25	24	25	25	21	24	25	24	26	24	
0.9	24	24	24	24	24	24	24	24	20	24	25	24	26	24	
0.9	24	24	24	24	24	24	24	24	20	24	25	24	26	24	
0.9	24	24	24	24	24	24	24	24	20	24	25	24	26	24	
1.0	24	24	24	24	24	24	24	24	19	24	25	24	26	24	
1.0	24	24	24	24	23	23	23	24	20	23	25	24	26	24	
1.0	24	24	24	24	24	23	24	23	19	24	24	24	25	24	
1.1	23	23	23	23	23	23	23	23	19	23	24	23	26	23	

1.1	23	23	23	23	23	23	23	23	19	23	24	23	25	23
1.1	23	23	23	23	23	23	23	23	19	23	24	23	25	23
1.2	23	23	23	23	23	23	23	23	18	23	24	23	25	23
1.2	23	23	23	23	23	23	23	22	18	23	24	23	25	23
1.2	23	23	23	23	23	23	23	22	18	23	24	23	25	23
1.3	23	23	23	23	23	23	23	22	18	23	23	23	25	23
1.3	22	22	23	22	23	23	23	22	18	23	23	22	25	22
1.3	23	23	23	23	23	22	23	22	18	23	23	23	25	23
1.4	22	22	22	22	23	22	23	22	18	23	23	22	24	22
1.4	22	22	23	22	23	23	23	22	18	23	23	22	24	22
1.4	22	22	22	22	22	22	22	22	17	22	23	22	24	22
1.5	22	22	22	22	22	22	22	21	17	22	23	22	24	22
1.5	22	22	22	22	23	22	23	21	17	23	23	22	24	22
1.5	22	22	22	22	22	22	22	21	17	22	23	22	24	22
1.6	22	22	22	22	22	22	22	21	17	22	23	22	24	22
1.6	22	22	22	22	22	22	22	21	17	22	23	22	24	22
1.6	22	22	22	22	22	22	22	21	16	22	23	22	23	22
1.7	22	22	22	22	22	22	22	21	16	22	23	22	23	22
1.7	22	22	22	22	22	21	22	21	16	22	22	22	23	22
1.7	21	21	22	21	22	21	22	20	16	22	22	21	23	21
1.8	21	21	22	21	21	21	21	20	16	22	22	21	23	21
1.8	21	21	21	21	21	21	21	20	16	22	22	21	23	21
1.8	21	21	21	21	21	21	21	20	16	22	22	21	23	21
1.9	21	21	21	21	21	21	21	20	16	21	22	21	23	21
1.9	21	21	21	21	21	21	21	20	15	21	22	21	23	21
1.9	21	21	21	21	21	20	21	20	15	21	21	21	23	21
2.0	20	20	21	20	21	20	21	20	15	21	21	20	22	21
2.0	20	20	21	20	20	20	20	20	15	21	21	20	22	21
2.0	20	20	20	20	20	20	20	20	15	21	21	20	22	20
2.1	20	20	20	20	20	20	20	20	15	21	21	20	22	20
2.1	20	20	20	20	20	20	20	20	14	21	21	20	22	20
2.1	20	20	20	20	20	20	20	20	15	20	21	20	22	20
2.2	20	20	20	20	20	20	20	20	14	20	21	20	22	20
2.2	20	20	20	20	20	20	20	20	14	20	21	20	22	20
2.2	20	19	19	20	20	20	20	20	14	20	21	20	22	20
2.3	19	19	19	20	20	20	20	18	14	20	21	19	22	20
2.3	19	19	19	18	20	19	20	18	14	20	21	19	21	18
2.3	19	19	19	19	20	19	20	18	14	20	21	19	21	19
2.4	20	20	20	20	20	19	20	18	14	20	20	20	21	20
2.4	19	19	19	19	20	19	20	17	14	20	21	19	21	19
2.4	19	19	19	19	20	19	20	18	14	20	21	19	21	19
2.5	19	19	19	19	20	18	20	17	14	20	20	19	21	19
2.5	19	19	19	19	19	18	19	17	14	19	20	19	21	19
2.5	19	19	19	19	19	18	19	17	13	19	20	19	21	19
2.6	19	19	19	18	19	18	19	17	13	19	20	19	21	18

2.6	18	19	19	18	19	18	19	17	13	19	20	19	21	18
2.6	18	18	18	18	19	18	19	17	13	19	20	18	20	18
2.7	18	18	18	18	19	18	19	17	13	19	20	18	21	18
2.7	18	18	18	18	19	18	19	17	12	18	20	18	21	18
2.7	18	18	18	18	18	18	18	17	12	18	20	18	20	18
2.8	18	18	18	18	18	18	18	17	12	18	20	18	20	18
2.8	18	18	18	18	18	18	18	16	12	18	20	18	20	18
2.8	18	18	18	18	18	18	18	16	12	18	19	18	20	18
2.9	18	18	17	18	18	18	18	16	11	18	19	18	20	18
2.9	18	17	17	18	18	17	18	16	11	18	19	17	20	18
2.9	17	18	17	17	18	17	18	16	11	18	19	17	20	17
3.0	17	17	17	17	17	17	17	16	11	17	19	17	20	17
3.0	17	17	17	17	17	17	17	16	11	17	19	17	20	17
3.0	17	17	17	17	17	17	17	15	10	17	19	17	20	17
3.1	17	17	17	17	17	17	17	15	10	17	19	17	20	17
3.1	17	17	17	17	17	16	17	15	10	17	19	17	19	17
3.1	17	17	17	17	17	16	17	15	10	17	18	17	19	17
3.2	17	17	16	17	17	16	17	15	10	17	18	17	19	17
3.2	17	17	16	16	16	16	16	15	10	16	18	17	19	16
3.2	17	17	16	16	16	16	16	15	10	16	18	17	19	16
3.3	16	16	16	16	16	16	16	15	10	16	18	16	19	16
3.3	16	16	16	16	16	16	16	15	10	16	18	16	19	16
3.3	16	16	16	16	16	16	16	14	10	16	18	16	19	16
3.4	16	16	16	16	16	16	16	14	10	16	18	16	19	16
3.4	16	16	16	16	16	16	16	14	10	16	18	16	18	16
3.4	16	16	16	16	16	15	16	14	10	16	17	16	18	16
3.5	16	16	16	16	16	15	16	14	10	16	17	16	18	16
3.5	16	16	15	16	16	15	16	14	9	16	17	16	18	16
3.5	16	14	15	16	15	15	15	14	10	16	17	16	18	16
3.6	16	16	15	15	15	15	15	14	9	15	17	16	18	15
3.6	15	15	15	15	15	15	15	14	10	15	17	15	18	15
3.6	15	15	15	15	15	15	15	14	9	15	17	15	18	15
3.7	15	15	15	15	15	15	15	14	9	15	16	15	18	15
3.7	15	15	15	15	15	15	15	14	9	15	16	15	17	15
3.7	15	15	15	15	15	15	15	14	9	15	16	15	17	15
3.8	15	15	15	15	15	15	15	13	9	15	16	15	17	15
3.8	15	15	15	15	15	15	15	13	9	15	16	15	17	15
3.8	15	15	15	15	15	15	15	13	9	15	16	15	17	15
3.9	15	15	15	15	15	15	15	13	9	15	16	15	17	15
3.9	15	15	15	15	15	14	15	13	9	15	16	15	17	15
3.9	15	14	15	15	14	14	14	13	9	14	16	15	16	15
4.0	15	15	15	14	14	14	14	13	9	14	16	15	16	14
4.0	14	14	15	14	14	14	14	13	9	14	15	14	16	14
4.0	15	15	15	14	14	14	14	13	9	14	15	15	16	14
4.1	15	15	15	14	14	14	14	13	9	14	15	15	16	14

4.1	14	14	15	14	14	14	14	13	8	14	15	14	16	14
4.1	14	14	14	14	14	14	14	13	9	14	15	14	16	14
4.2	14	14	14	14	14	14	14	13	8	14	15	14	16	14
4.2	14	14	14	14	14	14	14	12	8	14	15	14	16	14
4.2	14	14	14	14	14	13	14	12	9	14	14	14	16	14
4.3	14	14	14	14	14	13	14	12	8	14	14	14	15	14
4.3	14	14	14	14	14	13	14	12	8	14	14	14	15	14
4.3	14	14	14	14	14	13	14	12	8	14	14	14	15	14
4.4	14	14	14	14	14	12	14	12	8	14	15	14	15	14
4.4	14	14	14	14	13	12	14	12	8	13	14	14	15	14
4.4	14	14	14	13	13	12	13	12	8	13	14	14	15	13
4.5	14	14	14	13	13	12	13	11	8	13	14	14	15	13
4.5	13	13	13	13	13	12	13	11	8	13	14	14	14	13
4.5	14	13	13	13	13	12	13	11	8	13	14	14	14	13
4.6	13	13	13	13	13	11	13	11	8	13	14	13	14	13
4.6	13	13	13	13	13	11	13	11	8	13	13	13	14	13
4.6	13	13	13	13	13	11	13	11	8	13	13	13	15	13
4.7	13	13	13	13	13	11	13	11	7	13	13	13	14	13
4.7	13	13	13	13	13	11	13	11	7	13	13	13	14	13
4.7	13	13	13	13	13	10	13	11	7	13	13	13	14	13
4.8	13	13	13	13	13	10	13	11	7	13	13	13	14	13
4.8	13	13	13	13	13	10	13	11	7	13	13	13	14	13
4.8	13	13	13	13	13	10	12	11	7	13	13	13	14	13
4.9	13	13	13	13	13	10	12	11	7	13	13	13	13	13
4.9	13	13	13	13	13	10	12	11	7	13	13	13	13	13
4.9	13	13	13	13	12	10	12	11	7	13	12	13	13	13
5.0	13	13	12	13	12	10	12	11	7	12	12	13	13	13
5.0	12	13	12	13	12	10	12	11	7	12	12	13	13	13
5.0	13	13	13	13	12	10	12	10	7	12	12	13	13	13
5.1	13	13	12	13	12	10	12	11	7	12	12	13	13	13
5.1	13	13	13	13	11	10	11	10	7	11	12	13	13	13
5.1	13	12	13	12	11	10	11	10	7	11	12	13	13	12
5.2	13	13	13	12	11	10	11	10	7	11	11	13	13	12
5.2	12	12	13	12	11	10	11	10	7	11	11	12	12	12
5.2	13	13	13	12	10	10	10	10	7	11	11	13	12	12
5.3	13	13	12	12	10	10	10	10	6	10	11	13	12	12
5.3	12	12	12	12	10	10	10	10	6	10	11	12	12	12
5.3	12	12	12	12	10	10	10	10	6	10	11	12	12	12
5.4	12	12	12	12	10	10	10	10	6	10	11	12	12	12
5.4	12	12	12	12	10	9	10	10	6	10	11	12	12	12
5.4	12	12	12	12	10	9	10	10	6	10	11	12	12	12
5.5	12	12	12	12	10	9	10	10	6	10	11	12	12	12
5.5	12	12	12	12	10	9	10	10	6	10	10	12	11	12
5.5	12	12	12	12	10	9	10	10	6	10	11	12	11	12
5.6	12	12	12	12	10	9	10	10	6	10	10	12	11	12

5.6	12	12	12	12	9	9	9	10	6	10	10	12	11	12
5.6	12	12	12	12	10	9	10	9	6	10	10	12	11	12
5.7	12	12	12	12	9	9	9	9	6	10	10	12	11	12
5.7	12	12	12	12	9	9	9	10	6	10	10	12	11	12
5.7	12	12	12	12	9	9	9	9	6	9	10	12	11	12
5.8	12	12	12	12	9	9	9	9	6	10	10	12	10	12
5.8	12	12	12	12	9	9	9	9	6	10	10	12	10	12
5.8	12	12	12	12	9	9	9	9	6	10	9	12	10	12
5.9	12	12	12	12	9	9	9	9	6	9	9	12	10	12
5.9	12	12	12	12	9	8	9	9	5	9	9	12	10	12
5.9	12	12	12	12	9	8	9	9	5	9	9	12	10	12
6.0	12	12	12	12	9	8	9	9	6	9	9	12	10	12
6.0	12	12	11	12	9	8	9	9	5	9	9	12	10	12
6.0	12	12	11	12	9	8	9	9	5	9	9	12	10	12
6.1	12	12	11	12	9	8	9	9	5	9	9	12	10	12
6.1	12	12	11	12	9	8	9	9	5	9	9	12	9	12
6.1	12	12	11	12	9	8	9	9	5	9	9	12	9	12
6.2	12	12	11	12	9	8	9	9	5	9	8	12	9	12
6.2	12	11	11	12	9	8	9	9	5	9	8	12	9	12
6.2	12	11	11	12	9	8	9	9	5	9	8	12	9	12
6.3	12	11	11	12	9	8	9	9	5	9	8	12	9	12
6.3	11	11	11	12	9	8	9	8	5	9	8	11	9	12
6.3	11	11	11	12	8	8	8	9	5	8	8	11	9	12
6.4	11	11	11	12	9	8	9	8	5	9	8	11	9	11
6.4	11	11	11	11	8	8	8	8	5	8	8	11	9	11
6.4	11	11	11	11	8	8	8	8	4	8	8	11	8	11
6.5	11	11	11	11	9	8	9	8	4	9	8	11	8	11
6.5	11	11	11	11	8	8	8	8	4	8	8	11	8	11
6.5	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.6	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.6	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.6	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.7	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.7	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.7	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.8	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	8	11	8	11
6.8	11	11	11	11	8	7	8	8	4	8	7	11	8	11
6.8	10	11	11	11	8	7	8	8	4	8	7	11	8	11
6.9	10	11	11	11	8	7	8	8	4	8	7	11	8	11
6.9	10	11	11	11	7	7	7	8	4	8	7	11	8	11
6.9	10	11	11	11	8	7	8	8	4	8	7	11	8	11
7.0	10	10	11	11	8	7	8	8	4	8	7	11	8	11
7.0	10	10	11	11	8	7	8	8	4	7	7	11	8	11
7.0	10	10	11	10	7	6	7	8	4	7	7	10	8	10
7.1	10	10	10	10	7	6	7	8	4	7	7	10	8	10

7.1	10	10	10	10	7	6	7	7	4	7	7	10	8	10
7.1	10	10	10	10	7	6	7	7	4	7	7	10	8	10
7.2	9	10	10	10	7	6	7	7	4	7	7	10	7	10
7.2	9	10	9	10	7	6	7	7	4	7	7	10	7	10
7.2	9	10	9	10	7	6	7	7	4	7	7	10	7	10
7.3	9	10	9	10	7	6	7	7	4	7	7	10	7	10
7.3	9	10	9	10	7	6	7	7	4	7	7	10	7	10
7.3	9	9	9	9	7	6	7	7	4	7	7	10	7	9
7.4	9	9	9	9	7	6	7	7	3	7	7	9	7	9
7.4	9	9	9	9	7	6	7	7	3	7	7	9	7	9
7.4	9	9	8	9	7	6	7	7	3	7	7	9	7	9
7.5	8	9	8	9	7	6	7	7	3	7	7	9	7	9
7.5	8	9	8	9	7	6	7	7	3	6	7	9	7	9
7.5	8	9	8	9	7	5	7	7	3	6	7	9	7	9
7.6	8	8	8	8	7	6	7	7	3	6	7	9	7	8
7.6	8	8	8	8	7	5	7	7	3	6	7	9	7	8
7.6	8	8	8	8	6	5	6	6	3	6	7	9	7	8
7.7	8	8	8	8	7	5	7	6	3	6	7	8	7	8
7.7	7	8	8	8	6	5	6	7	3	6	7	8	7	8
7.7	7	8	7	8	6	5	6	6	3	6	7	8	7	8
7.8	7	8	7	8	6	5	6	6	3	6	7	8	7	8
7.8	7	7	7	7	6	5	6	6	3	6	7	8	7	7
7.8	7	7	7	7	6	5	6	6	3	6	6	7	7	7
7.9	7	7	7	7	6	5	6	6	3	6	7	7	7	7
7.9	7	7	7	7	6	5	6	6	2	6	6	8	7	7
7.9	7	7	7	7	6	5	6	6	2	6	6	7	7	7
8.0	6	7	7	7	6	5	6	6	2	6	7	7	7	7
8.0	6	6	6	6	6	5	6	6	2	6	6	7	7	6
8.0	6	6	6	6	6	5	6	6	2	6	7	7	7	6
8.1	6	6	6	6	6	5	6	6	2	6	6	6	7	6
8.1	6	6	6	6	6	5	6	6	2	6	6	6	7	6
8.1	6	6	6	6	6	5	6	6	2	6	6	6	7	6
8.2	5	6	6	6	5	4	5	6	2	6	6	6	6	6
8.2	5	6	5	6	6	4	6	5	2	6	6	6	6	6
8.2	5	6	5	6	5	4	5	5	1	6	6	5	7	6
8.3	5	6	5	6	5	4	5	5	1	6	6	5	6	6
8.3	5	5	5	5	5	4	5	5	1	5	6	5	7	5
8.3	4	9	5	5	5	4	5	5	1	6	6	5	6	5
8.4	5	5	5	5	5	4	5	5	1	5	6	5	6	5
8.4	4	5	5	5	5	4	5	5	1	5	5	4	6	5
8.4	4	4	4	5	5	4	5	5	1	5	5	4	6	5
8.5	4	4	4	5	5	4	5	5	1	5	5	4	6	5
8.5	4	4	4	4	5	4	5	5	1	5	5	4	6	4
8.5	3	4	4	4	4	4	4	5	1	5	5	3	6	4
8.6	4	4	4	4	4	4	4	5	1	5	5	4	6	4

8.6	3	4	4	4	4	4	4	5	1	5	5	3	6	4
8.6	3	4	4	4	4	4	4	5	1	5	5	3	6	4
8.7	3	3	3	3	3	4	3	4	1	5	5	3	6	3
8.7	3	3	3	4	3	4	3	4	1	5	5	3	5	4
8.7	3	3	3	3	3	4	3	4	1	5	5	3	6	3
8.8	2	3	3	3	3	3	3	4	1	5	5	3	5	3
8.8	2	3	3	3	3	3	3	4	1	5	5	3	5	3
8.8	2	3	3	3	3	3	3	3	1	5	5	2	5	3
8.9	2	2	2	3	2	3	2	3	1	4	5	2	5	3
8.9	2	2	2	3	2	3	2	3	1	4	5	2	4	3
8.9	2	2	2	2	2	3	2	3	1	3	5	2	4	2
9.0	2	2	2	2	2	3	2	2	1	3	4	2	4	2
9.0	1	2	2	2	2	3	2	2	1	3	4	2	3	2
9.0	1	2	2	2	1	3	1	2	1	3	4	2	3	2
9.1	1	2	2	2	1	3	1	2	1	2	4	1	3	2
9.1	1	1	1	2	1	3	1	2	1	3	2	1	3	2
9.1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	3	1
9.2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	3	1
9.2	1	1	1	1	0	2	0	1	1	2	1	1	2	1
9.2	1	1	1	1	0	1	0	1	1	2	2	1	2	1
9.3	1	1	1	1	0	2	0	1	1	2	1	1	2	1
9.3	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	2	1
9.3	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	2	1
9.4	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	2	1
9.4	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0
9.4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
9.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
9.6	-1	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0
9.6	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0
9.7	-1	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0

Tabla 12 Datos recopilados en la medición de temperatura en un refrigerador comercial doméstico.

Apéndice B

El siguiente programa es el que se utilizó para Controlar los compresores dependiendo de la temperatura sensada al interior del espacio refrigerado.

```
#include <16f887.h>

#device adc=10

#fuses MCLR, NOWDT

#use delay(clock=20000000)

int a;

int flag;

void main()

{

    setup_adc_ports(sANO);

    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

    flag=0;

    while(1)

    {

        set_adc_channel(0);

        delay_us(22);

        a=read_adc()*0.5;

        if(a>7)

        {
```

```
    output_D(0b00000111);  
  
    }  
  
    if(a>4&&a<=7)  
  
    {  
  
        output_D(0b00000011);  
  
    }  
  
    if(a>0&&a<=4)  
  
    {  
  
        output_D(0b00000001);  
  
    }  
  
    if(a<=0)  
  
    {  
  
        output_D(0b00000000);  
  
        flag=1;  
  
        delay_ms(10000);  
  
        delay_ms(10000);  
  
        delay_ms(10000);  
  
    }  
  
    }  
  
}
```

Programa 1 Programa para controlar los paros y arranques de los compresores dependiendo los intervalos de temperatura.

El programa 2 es el utilizado para realizar la prueba del sensado para obtener distribución de calor al interior del espacio refrigerado.

```
#include <16F887.h>

#include <stdlib.h>

#fuses HS,NOWDT,PUT,NOPROTECT,PUT,NOBROWNOUT,NOLVP

#use delay(clock=20000000)

#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

void main(void)
{
    int16 sen1;

    int16 sen2;

    int16 sen3;

    int16 sen4;

    int16 sen5;

    int16 sen6;

    int16 sen7;

    int16 sen8;

    int16 sen9;

    int16 sen10;

    int16 sen11;

    int16 sen12;
```

```
int16 sen13;

int16 sen14;

int16 i=0;

SETUP_ADC_PORTS(sAN0|sAN1|sAN2|sAN3|sAN4|sAN4|sAN6|sAN7|sAN8|sAN9|sAN10|sAN11
|sAN12|sAN13);

setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

while(1)
{
    set_adc_channel(0);

    delay_us(40);

    sen1=read_adc()+15;

    printf("\r sensor 1 =");

    printf("%4ld", sen1);

    set_adc_channel(1);

    delay_us(40);

    sen2=read_adc()+15;

    printf(" sensor 2 =");

    printf("%4ld", sen2);

    set_adc_channel(2);

    delay_us(40);

    sen3=read_adc()+15;
```

```
printf(" sensor 3 =");  
  
printf("%4ld", sen3);  
  
set_adc_channel(3);  
  
delay_us(40);  
  
sen4=read_adc()+15;  
  
printf(" sensor 4 =");  
  
printf("%4ld", sen4);  
  
set_adc_channel(4);  
  
delay_us(40);  
  
sen5=read_adc()+15;  
  
printf(" sensor 5 =");  
  
printf("%4ld", sen5);  
  
set_adc_channel(5);  
  
delay_us(40);  
  
sen6=read_adc()+15;  
  
printf("\r sensor 6 =");  
  
printf("%4ld", sen6);  
  
set_adc_channel(6);  
  
delay_us(40);  
  
sen7=read_adc()+15;  
  
printf(" sensor 7 =");  
  
printf("%4ld", sen7);
```

```
set_adc_channel(7);

delay_us(40);

sen8=read_adc()+15;

printf(" sensor 8 =");

printf("%4ld", sen8);

set_adc_channel(8);

delay_us(40);

sen9=read_adc()+15;

printf(" sensor 9 =");

printf("%4ld", sen9);

set_adc_channel(9);

delay_us(40);

sen10=read_adc()+15;

printf(" sensor 10 =");

printf("%4ld", sen10);

set_adc_channel(10);

delay_us(40);

sen11=read_adc()+15;

printf("\r sensor 11 =");

printf("%4ld", sen11);

set_adc_channel(11);

delay_us(40);
```

```
sen12=read_adc()+15;

printf(" sensor 12 =");

printf("%4ld", sen12);

set_adc_channel(12);

delay_us(40);

sen13=read_adc()+15;

printf(" sensor 13 =");

printf("%4ld", sen13);

set_adc_channel(13);

delay_us(40);

sen14=read_adc()+15;

printf(" sensor 14 =");

printf("%4ld", sen14);

i++;

printf("\r%4ld REFRIGERADOR  ", i);

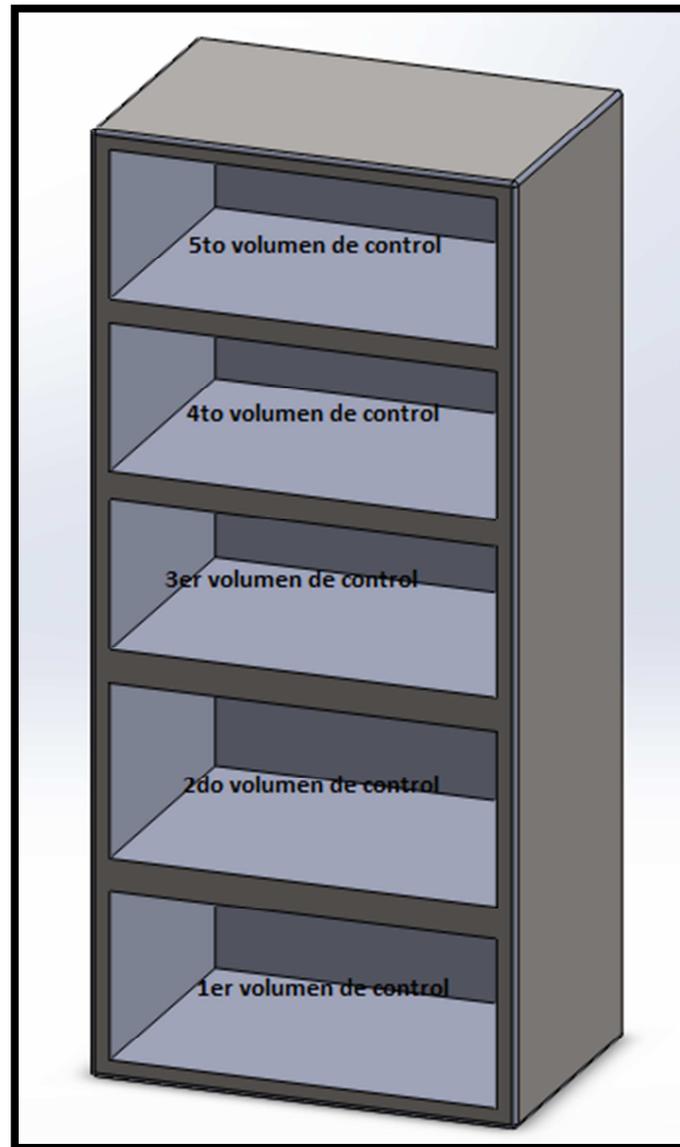
delay_ms(1000);

}

}
```

Programa 2 programa para realizar las mediciones de temperatura al interior del espacio refrigerado.

Apéndice C



Esquema del refrigerador propuesto seccionado.

Bibliografía

1. M. Hasanuzzaman, R. Saidur, H.H. Masjuki, "Effects of operating variables on heat transfer and energy consumption of a household refrigerator-freezer during closed door operation", Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, Malaysia, 2008.
2. B. Gin, M.M. Farid, P.K. Bansal, "Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels", Department of Chemical and Materials Engineering, The University of Auckland, New Zealand, 2010.
3. J. Alberto Dopazo, José Fernández-Seara, "Experimental evaluation of freezing processes in horizontal plate freezers using CO₂ as refrigerant", University of Vigo, Spain, 2012.
4. Alberto Leva, Luigi Piroddi, Massimiliano Di Felice, Alessandro Boer, Raffaele Paganini, "Adaptive relay-based control of household freezers with on-off actuators", Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione, Italy, 2009.
5. Zhili Lu, Guoliang Ding, "Temperature and time-sharing running combination control strategy of two-circuit cycle refrigerator-freezer with parallel evaporators", Department of Power and Energy Engineering, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiaotong University, China, October 2005.
6. Miranda Barreras, Luis Ángel, Ciclos de refrigeración, Ediciones CEAC, Barcelona (España) 2004.
7. Miranda, Ángel Luis, Enciclopedia de Aire acondicionado, 3ra edición, México, 2000.
8. Salinas Lira, Carlos Hernan, Maquinas de Termo Fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Bio-Bio, Concepción Chile.
9. Bruno de Miranda Santos, Rodríguez Carlos, Instalaciones Frigoríficas, Centro Nacional Marítimo De Bamio, Revisión 03, octubre 2010, España.
10. Whitman, William C., Jhonson, William M., Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado, Thomson, 2001.
11. <http://www.intercal.cl>.
12. <http://tecno2aulavirtual.blogspot.mx>.
13. Fernández Díez, Compresores, Departamento de energía eléctrica y energética, Universidad de Cantabria.

14. <http://www.scalofrios.es>.
15. Manual técnico VALYCONTROL S.A. de C.V.
16. Omar Gálvez Arocha, Jabid Quiroga Méndez, Daniel Barajas Merchán, Martha Gómez Sarmiento, Estudio Experimental de las Estrategias de Control On-Off y Control Continuo en un Sistema de Refrigeración, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
17. <http://www.ecoagricultor.com>.
18. García Breijo, Eduardo, Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC, 4ta edición. México, 2012.
19. ASHRAE, guide and data book fundamentals and equipment, 10ma edición, EEUU, 1965.
20. Dossat, Roy J., Principios de refrigeración, 10ma edición, México 1999.
21. Bolton, William, Ingeniería de control, 2da edición., México, Alfaomega, 2001.
22. Sorour Alotaibi, Sen, Mihir, Yang Kwang-tzu, Thermal control of heat exchange, ASME, 35 National Heat Transfer Conference, California 2001.
23. R. Warren Marsh, C. Thomas Olivo, Principios de la refrigeración, 2a ed., Diana, 1994.
24. Ernest Tricom, ABC del aire acondicionado, Alfaomega-Marcomo. 1996.
25. Cengel, Yunus A., Michael A. Boles, Termodinámica, México McGraw-Hill,1996.
26. Bolton, William, Mecatronica: Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica, 2da ed., México, Alfaomega, 2001.
27. Coronel Toro, Juan Francisco, Colección de Tablas y Gráficas de Instalaciones Frío - Calor, Dpto. de Ingeniería Energética y mecánica de Fluidos, Universidad de Sevilla, febrero 2006.