



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN UN
REFRIGERADOR DOMÉSTICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

OSCAR EDUARDO MENDOZA MEJÍA

DIRECTOR DE TESIS: M.I. BILLY ARTURO FLORES MEDERO NAVARRO

MÉXICO D.F. ENERO / 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de muchas personas, especialmente al M.I. Billy A. Flores Medero Navarro quien me apoyo y orientó durante todo este proceso.

Al Ing. Miguel Ángel Hernández Alcántara por todo el apoyo incondicional, su conocimiento y su paciencia.

Al Ing. Isaías Hernández quien me impulsó y motivo para concluir este trabajo, además de contar con su comprensión y amistad.

Al Ing. Adiel Elesban Romero Gracia quien me ayudo de manera permanente durante la realización de este trabajo y con quien encontré una grata amistad.

A cada uno de los miembros del jurado que evaluaron este trabajo por su tiempo y consejos, así como a cada uno de los profesores que formaron parte de mi desarrollo y formación en esta etapa de mi vida.

Y por último un agradecimiento muy especial a la UNAM y a la Facultad de Ingeniería, por haberme abierto las puertas de sus instalaciones y haberme permitido formarme como un ciudadano responsable con la ética que caracteriza a esta magnífica institución, por todo eso y muchas cosas más, GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de culminar esta etapa, a mi padre el Sr. Leopoldo Mendoza por acompañarme incondicionalmente en cada momento, por brindarme las herramientas necesarias para enfrentar la vida y por enseñarme que las cosas del alma valen más que lo superficial, a mi madre la Sra. María de los Ángeles Mejía quien ha sido la mujer que me ha inspirado en alcanzar mis más grandes logros y a quien le debo todo en la vida, a mi hermano Cesar Mendoza quien ha sido mi compañero y cómplice y con que he compartido los momentos más felices a lo largo de esta travesía.

De la misma manera le agradezco a mi abuela la Sra. Teresa Silva quien gracias a sus buenos consejos me ayudó a llegar hasta este punto, al resto de mis abuelos que a pesar de que ya no se encuentran conmigo físicamente sé que su esencia me acompaña día a día, a mi prima Nely a quien extraño tanto y a quien dedico con mucho cariño este logro, a mi hijo Diego A. Mendoza que ha llegado a mi vida para enseñarme que la vida viene con regalos maravillosos y por ser la inspiración para seguir adelante ante cualquier tropiezo, a la madre de mi hijo Martha Pérez por brindarme su apoyo incondicional y sobre todo por haberme dado el regalo más hermoso de la vida que es nuestro hijo, al resto de mi familia ya que en cada uno de ellos siempre encontré el apoyo y los consejos que me impulsaron para continuar durante cada paso de mi vida, a mis amigos y compañeros de la carrera en quien encontré siempre la ayuda y una amistad sincera y a todos y cada una de las personas que he mencionado aquí MUCHAS GRACIAS.

Índice

OBJETIVO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.2 HISTORIA DE LA REFRIGERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD	4
1.3 REFRIGERACIÓN EN LA ACTUALIDAD.....	7
1.4 PRINCIPIO DE LA REFRIGERACIÓN MECÁNICA.....	8
1.5 EL CICLO DE CARNOT.....	11
1.6 CICLO DE CARNOT INVERTIDO	14
1.7 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	16
1.8 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	18
CAPITULO 2. IMPACTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS MÁQUINAS FRIGORÍFICAS	20
2.1 INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 GENERACIÓN Y COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.....	21
2.3 CONSUMO ELÉCTRICO EN EL HOGAR.....	27
2.4 INVESTIGACIÓN DE DIFERENTES PROPUESTAS PARA OBTENER UN AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO.	28
CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	35
3.1 INTRODUCCIÓN.....	36
3.2 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PREVIAS.....	36
3.2.1 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 1.....	36
3.2.2 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 2.....	41
3.2.3 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 3.....	42
3.3 ELECCIÓN DE LA MEJOR PROPUESTA.....	44
3.4 ELECCIÓN DEL EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN.....	45
3.4.1 DETERMINACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO REQUERIDO PARA ARMAR EL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	46
3.4.1.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR.....	46
3.4.1.2 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL Y DIMENSIONES EN EL EVAPORADOR	48

3.4.1.3 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL Y DIMENSIONES EN EL CONDENSADOR.....	52
3.4.2 DETERMINACIÓN DEL EQUIPO ELECTRÓNICO PARA EL REGISTRO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS.....	55
3.5 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.....	56
3.5.1 ARMADO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN	57
3.5.2 ARMADO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	61
3.5.3 SOFTWARE EMPLEADO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS	63
3.5.4 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE FINAL DEL BANCO DE PRUEBAS	64
3.5.5 PRUEBAS REALIZADAS DURANTE EL EXPERIMENTO	65
CAPITULO 4. RESULTADOS	68
4.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRIMERA ETAPA DEL EXPERIMENTO	69
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SEGUNDA ETAPA DEL EXPERIMENTO	72
4.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ARREGLO ALTERNATIVO B.....	75
CAPITULO 5. CONCLUSIONES	78
5.1. OBSERVACIONES	79
5.2. CONCLUSIONES	79
5.3. TRABAJOS A FUTURO	81
ANEXOS	82
REFERENCIAS.....	107

Índice de figuras

Figura 1. Ley cero de la termodinámica	9
Figura 2. Principio de refrigeración mecánica.....	10
Figura 3. Flujo natural del calor.....	10
Figura 4. Principio de la máquina de Carnot	11
Figura 5. Ciclo de Carnot	12
Figura 6. Diagrama T-s del ciclo de Carnot.....	13
Figura 7. Ciclo Rankine ideal sobrecalentado	14
Figura 8. Esquema general de un ciclo de Carnot invertido funcionando como máquina frigorífica	15
Figura 9. Diagrama T-s del ciclo de Carnot inverso	15
Figura 10. Esquema de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	17
Figura 11. Diagrama general de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	17
Figura 12 Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.....	19

Figura 13. Capacidad de generación de energía eléctrica (GW) en países miembros de la OCDE, 2009.....	22
Figura 14. Consumo general de electricidad a nivel mundial en el 2011.	22
Figura 15. Concepto de Refrigerador-congelador con deshielo automático y compartimento de congelador independiente montado en la parte superior, sin despachador de hielo	29
Figura 16. Esquema de la propuesta 1 implementando un variador de frecuencia en motor eléctrico del compresor	32
Figura 17. Diagrama tubería e instrumentación de la propuesta para un ciclo de refrigeración fraccionado.....	33
Figura 18. Muestras de los diferentes arreglos de las placas del evaporador de un refrigerador doméstico.....	34
Figura 19. Grafica de relación V/f para un variador de frecuencia	39
Figura 20. Grafica de la relación torque y frecuencia en un motor eléctrico.	39
Figura 21. Grafica de relación potencia y frecuencia para un motor eléctrico.....	40
Figura 22. Distribución típica de las placas del evaporador dentro de un refrigerador doméstico.	42
Figura 23. Algunos de los materiales y equipos requeridos para el armado del sistema.....	57
Figura 24. Proceso de corte y doblado de la tubería de cobre para ensamblar las pacas del evaporador y condensador	58
Figura 25. Proceso de soldadura para ensamblar las placas del condensador y del evaporador.....	59
Figura 26. Sistema de refrigeración armado	59
Figura 27. Llenado de refrigerante al sistema.....	60
Figura 28. Verificación de carga correcta del refrigerante al sistema	61
Figura 29. Sensores colocados dentro de una celda de alambre de cobre.....	62
Figura 30. Circuito electrónico simulado en PROTEUS	63
Figura 32. Arreglo usual del evaporador en los refrigeradores	65
Figura 33. Prueba de censado de temperaturas con la configuración usual de las placas del evaporador.....	65
Figura 34. Arreglo alternativo "A" en las placas del evaporador.....	66
Figura 35. Prueba de censado de temperaturas con la configuración alternativa "A"	66
Figura 36. Arreglo alternativo "B" en las placas del evaporador.....	67
Figura 37. Prueba de censado de temperaturas con la configuración alternativa "B"	67
Figura 38. Grafica Tiempo–Temperatura de los resultados obtenidos con el arreglo tradicional... ..	71
Figura 39. Grafica Tiempo–Temperatura de los resultados obtenidos con el arreglo alternativo "A"	74
Figura 40. Grafica Tiempo–Temperatura de los resultados obtenidos con el arreglo alternativo "B"	77

Índice de tablas

Tabla 1. Capacidad instalada y generación de energía eléctrica en el país hasta Junio 2013	21
Tabla 2. Capacidad efectiva instalada por tipo de generación al mes de junio de 2013	24
Tabla 3. Participación de generación por fuente	24
Tabla 4. Las siete tarifas establecidas por CFE para el sector residencial.....	26
Tabla 5. Cantidad de energía consumida por electrodomésticos.....	27
Tabla 6. Parámetros de variación de velocidad en un motor eléctrico	37
Tabla 7. Matriz de decisión para elección de la propuesta.....	44
Tabla 8. Carga térmica de los alimentos	49
Tabla 9. Resultados obtenidos con el arreglo tradicional	70
Tabla 10. Resultados obtenidos con el arreglo alternativo A	72
Tabla 11. Resultados obtenidos con el arreglo alternativo B.....	75
Tabla 12. Resumen de resultados obtenidos	80

OBJETIVO

Este trabajo está enfocado en proponer algunas modificaciones dentro de los componentes que conforman a un refrigerador doméstico convencional para disminuir el consumo de energía eléctrica, dando como resultado un uso eficiente de la energía reflejado directamente en un ahorro económico.

INTRODUCCIÓN

El tema de esta investigación surge a partir de la necesidad por aprovechar de la mejor manera posible la energía eléctrica que consume un refrigerador de uso doméstico. Este electrodoméstico es un elemento básico en cualquier hogar y debido a su finalidad, permanece encendido gran parte del día durante todo el año, generando un consumo eléctrico que repercute de forma significativa en los gastos de operación, así como de forma directa en el impacto ambiental, de tal modo que esto lleva a replantear la forma de operar de este tipo de máquinas frigoríficas, en cuanto a su diseño, la distribución de sus componentes y el impacto directo en su operación al realizar algunas variaciones de sus componentes y la configuración entre estos.

Un punto muy importante a considerar es la operación del compresor, este dispositivo suministra todo el trabajo requerido durante el ciclo por compresión de vapor, de forma tal que es indispensable dirigir la atención en este dispositivo tratando de encontrar la forma de optimizar su operación, sin olvidar que el resto de los dispositivos que conforman al ciclo de refrigeración por compresión de vapor no son de menor importancia, pues algunos cambios en su diseño podrían mejorar la eficiencia en el consumo eléctrico. Se sabe que los refrigeradores tienen como fin mantener los alimentos a una temperatura por debajo de la del medio ambiente para su conservación y esto se logra encendiendo y apagando el sistema cada vez que se requiere para mantener cierta temperatura. El verdadero problema aparece cuando al arrancar nuevamente el ciclo, el sistema demanda la potencia máxima que puede brindar el compresor, lo cual pudiera resultar inapropiado ya que bastaría emplear una fracción de la potencia del compresor o incluso poder de alguna manera reducir los tiempos de operación para poder mantener la temperatura requerida de los alimentos y así evitar el derroche de energía eléctrica en un proceso que ya no demanda energía extra para lograr su propósito.

Es bien sabido que la temperatura del medio ambiente varía durante las diferentes horas del día, registrándose la temperatura más baja durante la noche y en especial durante las primeras horas del día, de tal manera que en esas horas resulta más sencillo para el

sistema alcanzar su objetivo debido a que el sistema debiera operar por menor tiempo y con un menor demanda de potencia.

En la actualidad no existe en el mercado un refrigerador que considere lo antes mencionado, algunos fabricantes se han enfocado en mejorar la forma de mantener aislada la cámara de refrigeración y algunos otros han optado por emplear compresores con diferentes características o incluso se ha buscado la forma de tener una mejor distribución del aire frío dentro de la cámara de refrigeración, todas estas mejoras logran aparentemente un uso más eficiente de la energía pero en algunas ocasiones al querer estudiar con mayor detenimiento estas características que ofrecen los diferentes fabricantes resulta el análisis de una caja negra debido a que no se posee demasiada información por la confidencialidad del funcionamiento de sus productos.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

En este tema se abordara una breve recopilación de los antecedentes más significativos en la historia de la refrigeración, puesto que resulta bastante interesante saber cómo se fue gestando este tipo de tecnología desde sus inicios, los problemas a los que se enfrentaron sus precursores y la tendencia de la refrigeración en el futuro.

1.2 HISTORIA DE LA REFRIGERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD

La refrigeración ha sido desde hace cientos de años, una de las mayores necesidades del hombre, primero surgió como una necesidad por mantener en buena condición los alimentos, pues se han encontrado registros de civilizaciones muy antiguas como los Romanos y Griegos quienes transportaban y almacenaban el hielo en pequeños pozos aislados térmicamente con paja y madera con el fin de conservar en mayor medida posible algunos alimentos e incluso hacer uso del hielo en épocas de calor para fines de confort de reyes y emperadores. Aunque resulte difícil de entender para muchos de nosotros que estamos tan acostumbrados al acceso de productos refrigerados y lo vemos como algo tan común, el hecho de que aún a principios del siglo XIX existían navieras dedicadas únicamente a transportar toneladas de hielo desde Suecia, Estados Unidos y Canadá hasta Australia, Las Indias Orientales y Las Antillas, donde el hielo era escaso.

Al paso del tiempo surgieron nuevas necesidades como las de aplicación medica que fueron de suma importancia y dieron origen las primeras investigaciones por parte de los médicos de la época a mediados del siglo XVIII para lograr métodos con el fin de mantener algunos medicamentos refrigerados y llevar a cabo experimentos a temperaturas bajas de manera artificial mediante procesos químicos empleando mezclas refrigerantes combinando agua con sal, nieve con nitrato amónico, entre otras mezclas que permitían llevar a cabo experimentos como el de Von Braun [Aburto,2006] que logró congelar el mercurio a -40°C y el de Fahrenheit con el cual logro establecer el cero de su escala termométrica.

La gran desventaja de estas mezclas es que son procesos discontinuos y limitados, debido a ello fue necesario generar otros procedimientos que derivaron en la refrigeración mediante procesos en los que se consumía trabajo o se consumía calor, los cuales eran métodos más fiables por su continuidad, estos descubrimientos tuvieron su origen en la

segunda mitad del siglo XVIII los cuales consistían básicamente en dos tipos de refrigeración mecánica: la refrigeración por evaporación de un líquido y la refrigeración por despresurización de un gas que en aquel entonces se empleaba aire principalmente, estos métodos se basaban en la entalpía de evaporación y en las propiedades de los gases ideales respectivamente, las sustancias que se emplearon en el método de evaporación son conocidas como refrigerantes cuya característica peculiar es su bajo punto de ebullición, empleando en un inicio el éter como fluido de trabajo por parte de William Cullen [Miranda 2008] quien además hizo uso de bombas de vacío manuales para evaporar el éter nitroso a baja presión y congelar pequeñas cantidades de agua, pero aun así el procedimiento se mantenía discontinuo, incluso ni la pequeña máquina creada por Edmond Carré [Miranda 2008] que a su principio tuvo gran aceptación ya que lograba congelar garrafas de agua en pocos minutos no tuvo éxito por este hecho de ser un procedimiento discontinuo.

No fue sino hasta después de una serie de aportaciones, mejorías y modificaciones por parte de ingenieros, médicos y físicos de principio del siglo XIX, de entre los cuales se encontraban Joseph Black, James Watt, Edward Gerald Nairne, y en especial el ingeniero norteamericano Jacob Perkins [Miranda 2008], quien fue el primero en proponer un ciclo cerrado en el cual el éter hervía en un evaporador a baja temperatura y presión, para congelar el agua. Luego el vapor de éter obtenido se comprimía en un dispositivo eléctrico y posteriormente se condensaba a mayor temperatura y presión; finalmente, el éter líquido del condensador se introducía, a través de una válvula de expansión, dentro del evaporador a baja presión, donde la temperatura descendía de nuevo a su valor inicial, completando así el ciclo, Perkins no dominaba por completo el comportamiento termodinámico de este ciclo pues fue hasta después de cincuenta años cuando la teoría desarrollada por Carnot logro explicar los fenómenos y limitaciones termodinámicas del ciclo que proponía Perkins.

Fue así como Perkins logro establecer la base del funcionamiento de las máquinas de refrigeración por compresión de vapor actuales, a pesar de todo esto su máquina no tuvo éxito comercial a falta de financiamiento y desinterés de los inversionistas en un mercado tan prematuro y complejo, sin embargo la industria de aquel entonces demandaba productos refrigerados y congelados como lo eran algunos alimentos y productos como la cerveza principalmente en países como Inglaterra, Estados Unidos y Australia, donde el desarrollo de la refrigeración tuvo mayor auge y fue precisamente en estos países donde personajes como John Gorrie [Miranda 2008] quien patento la primera máquina comercial basada en con ciclo empleado aire en el cual no se realizaba ningún cambio de fase, esta máquina además de generar frio y hielo ayudaba al tratamiento de los pacientes con fiebre amarilla, incluso tuvo una gran aceptación en la industria naviera debido al bajo

riesgo de incendio comparado con el que se tiene al emplear sustancias tan volátiles como el éter, pero más tarde esta máquina dejó de fabricarse debido a la escasa demanda de hielo en Inglaterra, por último se encuentra la aportación del australiano James Harrison quien mejoró la máquina de Perkins y obtuvo las patentes para así comenzar a darle una aplicación a su máquina en industrias como la cervecera y la petrolera, estas máquinas se fabricaron por un lapso de 45 años principalmente en Australia e Inglaterra y posteriormente la etapa de manufactura de esta máquina se detuvo al desarrollar nuevos y mejores dispositivos y también al optar por nuevos refrigerantes tales como el amoníaco (R-717 por su nombre comercial), el dióxido de azufre y el dióxido de carbono eran gases altamente tóxicos por lo cual era necesario desarrollar nuevas investigaciones para obtener gases de mayor seguridad y rendimiento, estas investigaciones realizadas por Thomas Midgley en 1930 dieron como resultado una gama de gases conocidos como Clorofluorocarbonos (CFC), en la cual estaba incluido el Freón, conocido comercialmente como R-12. Sin embargo en la década de los 80's se descubrió que estos gases eran uno de los principales causantes de la destrucción de la capa de Ozono y del efecto invernadero, así que en 1987 se firma el tratado de Montecarlo, en el cual se restringe la fabricación y uso de estos compuestos.

Posteriormente se incluyeron los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), estos refrigerantes son menos agresivos con la capa de ozono, dentro de estos componentes está incluido el Freón 22 o R22 que fue uno de los principales refrigerantes usados en la industria de la refrigeración y que oficialmente dejó de emplearse hasta el año 2010. Este refrigerante fue sustituido por compuestos que no inciden en la degradación de la capa de ozono, eliminando los átomos de cloro de sus moléculas y reemplazándolas por átomos de hidrógeno se dio origen a los Hidrofluorocarbonos (HFC). En la mayoría de las aplicaciones se sustituyó el R-22 por el refrigerante R-134A, aunque en otros casos es necesario sustituir por refrigerantes como el R-404A, R-407C o el R-410A, los cuales son actualmente los refrigerantes más aceptados por la comunidad científica como fluidos de trabajo en cualquier aplicación de la refrigeración. A pesar de estos avances las estadísticas indican que el Amoníaco o R-717 se emplea en casi el 60% de la industria Europea pues el R-717 no afecta al ambiente aunque su toxicidad para el ser humano debe tomarse en consideración.

Es importante resaltar que a la par que se desarrolló la refrigeración mecánica, de igual forma se desarrolló la refrigeración por absorción, el creador de este sistema fue Ferdinand Carré quien empleó amoníaco que posee una gran afinidad con el agua. Esta propiedad la aprovechó para transferir calor a una mezcla de un refrigerante y un absorbente, parte de esta mezcla es condensada y evaporada para crear el efecto de refrigeración sin necesidad de emplear un motor. Este nuevo sistema tuvo un gran auge

entre 1960 y 1970, generó una gran expectativa pues esta máquina de Carré tenía tanto la versión doméstica como portátil y era capaz de generar hasta dos kilogramos de hielo en cada operación, incluso fue empleada por primera vez para transportar carne de América a Europa de forma exitosa.

Hasta ese momento la creación de nuevos refrigerantes y del motor eléctrico fueron los principales responsables del desarrollo y aceptación de la refrigeración por compresión de vapor en gran parte de las aplicaciones industriales y domésticas. No fue sino hasta 1930, cuando la refrigeración por absorción volvió a retomar su importancia gracias a la Ley de Dalton de las presiones parciales y la sustitución del Amoníaco por Bromuro de Litio, se pudo determinar que este sistema era totalmente apto para difundirlo en zonas rurales, donde se carece de energía eléctrica y puede aprovecharse fuentes de energía alternas como la solar.

Como se puede ver, estas aportaciones que se comenzaron a generar hace un par de siglos atrás, han dado como resultado un desarrollo y crecimiento de nuevas industrias y sobre todo de grandes avances en la ciencia y medicina, de la misma manera estos aportes se reflejan en una serie de importantes beneficios que han impactado de manera histórica en la subsistencia y comodidad del ser humano. Basta con ejemplos tan sencillos como el confort que nos genera encender el aire acondicionado en nuestros hogares o automóviles en temporadas de calor o abrir cualquier refrigerador para tener acceso a bebidas y alimentos frescos e incluso tener acceso en cualquier momento a vacunas que necesitan estar a bajas temperaturas para su conservación, todo esto sin considerar todas las ventajas y aplicaciones que nos pueden brindar estos sistemas de refrigeración, es por esto que el desarrollo de la sociedad y de la industria no puede visualizarse en el futuro sin nuevas y mejores tecnologías que le permitan una evolución de los sistemas de refrigeración actuales, de los cuales se profundizará en los siguientes capítulos.

1.3 REFRIGERACIÓN EN LA ACTUALIDAD

Las necesidades de la civilización actual no constan únicamente de la refrigeración de alimentos y aplicaciones con fines terapéuticos. En la actualidad se han desarrollado nuevos campos de investigación que permiten a su vez el desarrollo de ciencias como la medicina, biología y física entre otras, tal es el caso de la criobiología, de la criocirugía, de la criotróica y de la criónica, todos estos nuevos campos de la ciencia requieren contar con sistemas de refrigeración que brinden temperaturas muy inferiores a las proporcionadas por refrigeradores ordinarios, por lo que se han generado diferentes

técnicas que entran dentro del rango denominado Criogenia, este campo de la refrigeración permite obtener temperaturas tan bajas que da paso al desarrollo de investigaciones que sólo es posible llevarlas a cabo a temperaturas cercanas a los 196°C bajo cero, temperatura a la cual ebulle el nitrógeno y a la cual es posible conservar hasta por 10 años en óptimas condiciones las células, tejidos, gametos, y embriones de origen animal y vegetal para el estudio e investigación correspondiente. Incluso en la actualidad hay empresas que ofrecen el servicio de criogenia para la conservación de cadáveres con el fin de reanimarlos posteriormente una vez que los avances de la ciencia lo permitan, todas estas prácticas se realizan en laboratorios totalmente controlados, donde la mayoría cuentan con ultra congeladores los cuales funcionan con el principio de refrigeración por compresión de vapor sólo que el proceso se lleva a cabo en diferentes etapas de compresión y existe un subenfriamiento antes de pasar a la siguiente etapa de esta manera se logra alcanzar tan bajas temperaturas. Otras técnicas empleadas se apoyan de la licuefacción de oxígeno y nitrógeno.

Los aportes que generan estas investigaciones se reflejan directamente en los avances de la medicina moderna, en donde es posible llevar a cabo tratamientos contra el cáncer, realizar cirugías que solo con la criogenia se pueden llevar a cabo, el desarrollo de nuevos medicamentos y vacunas que se elaboran en industrias farmacéuticas donde se requieren procedimientos a muy bajas temperaturas, por otra parte podemos ver grandes avances en la física y la creación de nuevos materiales denominados superconductores, los cuales presentan estas características a bajas temperaturas y que a su vez tienen una aplicación directa en la medicina, pues se requiere de materiales necesarios para la fabricación de instrumentos como los de resonancia magnética nuclear que dependen del uso de imanes superconductores. Analizando lo anterior se puede notar que las aplicaciones que se le da a la refrigeración en cualquiera de las áreas de estudio recaerá directamente sobre cualquier otra área, lo cual genera una retroalimentación continua en todas las áreas de estudio y ciencias donde se requieran bajas temperaturas.

1.4 PRINCIPIO DE LA REFRIGERACIÓN MECÁNICA

Para lograr entender el efecto de refrigeración es necesario comenzar por analizar y definir el calor. El calor puede ser entendido desde un punto de vista físico, como la cantidad de energía que fluye de forma natural desde un cuerpo, sustancia o sistema de mayor temperatura hasta otro de menor temperatura, esto se puede entender a partir de

la Ley Cero de la Termodinámica, la cual establece que “en un sistema cerrado habrá un flujo de energía en forma de calor entre los elementos del mismo, de tal forma que después de un periodo de tiempo este alcanzará su estado mínimo de energía el cual se logra cuando todos estos elementos alcanzan la misma temperatura”, de esta forma se puede afirmar que el flujo de calor neto entre ellos es nulo (figura 1).

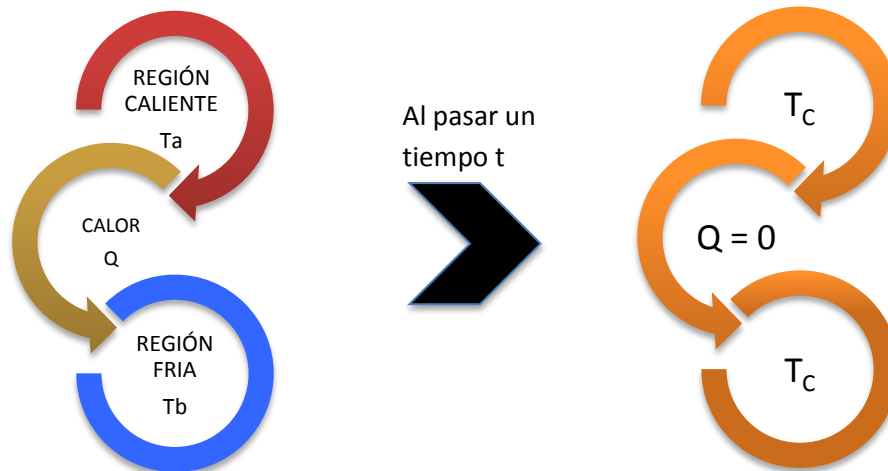


Figura 1. Ley cero de la termodinámica

Para lograr enfriar un espacio es necesario emplear un sistema de refrigeración que nos permita desafiar a la naturaleza, cambiando el sentido de dirección de flujo del calor. Una de las maneras en que se puede lograr esto es empleando algún sistema que contenga un dispositivo el cual entregue trabajo mecánico a un ciclo termodinámico cerrado, apoyándose también del uso de un fluido de trabajo conocido como refrigerante, el cual es una sustancia cuyo punto de ebullición se da a muy bajas temperaturas.

Con estos elementos es posible extraer calor de un espacio por medio de un intercambiador de calor (evaporador) para reducir su temperatura por debajo de la temperatura ambiente, el calor extraído del espacio es rechazado hacia el ambiente en otro intercambiador de calor (condensador) como se muestra en la figura 2.

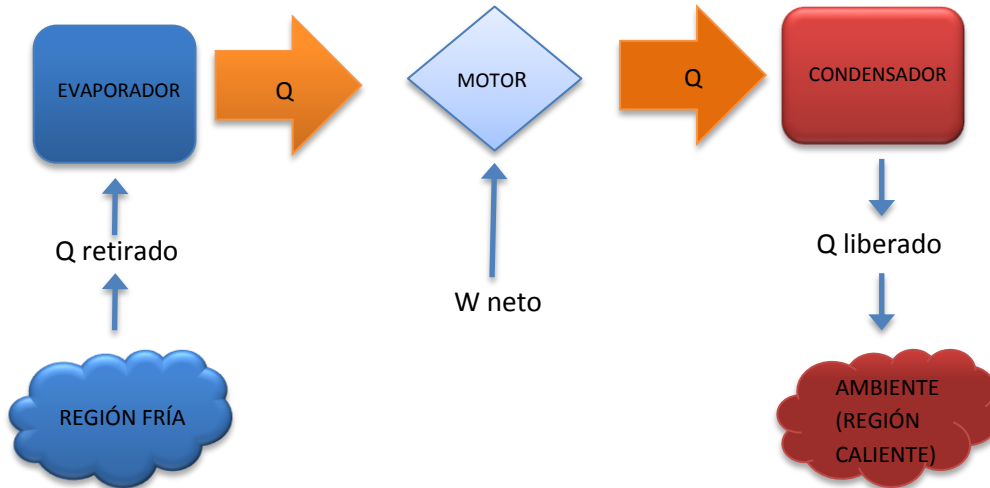


Figura 2. Principio de refrigeración mecánica

Resulta más sencillo si tratamos de visualizar una región previamente refrigerada y a esta región la enfriamos cada vez más, esto no sería posible de forma natural pero al disponer de un dispositivo que brinde trabajo mecánico al sistema será posible realizar una inversión del flujo de calor como lo muestra la figura 3.

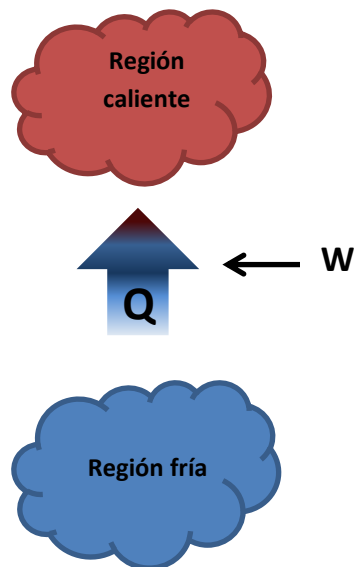


Figura 3. Flujo natural del calor

Este es el principio básico de la refrigeración mecánica aunque como se ha mencionado anteriormente existen otros mecanismos de refrigeración de los cuales no se abundará debido a las intenciones del tema de tesis.

1.5 EL CICLO DE CARNOT

En el capítulo anterior se dio una breve introducción al campo de la refrigeración mecánica de tal manera que se puede dar paso a la descripción de los diferentes ciclos y propiedades termodinámicas que gobiernan el comportamiento de estos procesos de refrigeración de esta manera se tendrá una idea más clara y precisa al hablar de refrigeración mecánica.

Se da comienzo con el ciclo más básico y del cual surgieron el resto de los ciclos. El primer ciclo a detallar es el ciclo de Carnot, el cual parte de la idea que plantea la primera ley de la termodinámica como la concepción de una conservación de la energía, pues básicamente se trata de un proceso en el cual se extrae calor de una fuente de alta temperatura para cederlo a una zona de baja temperatura al mismo tiempo que aporta un trabajo al exterior (figura 4).

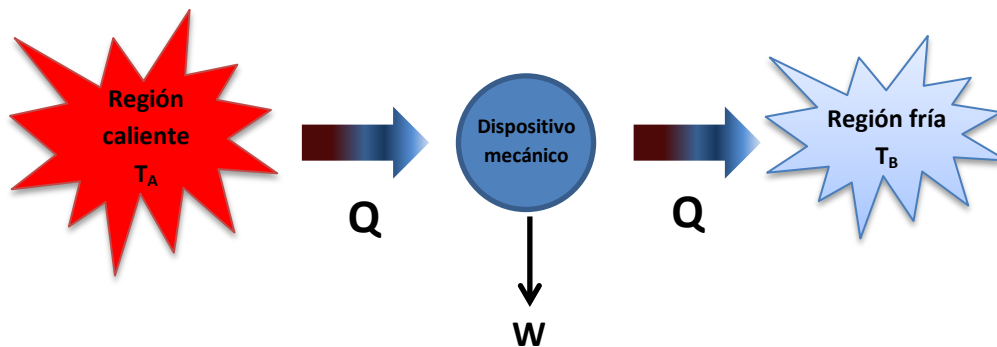


Figura 4. Principio de la máquina de Carnot

El ciclo inverso de Carnot es un estándar de funcionamiento, ya que requiere el trabajo mínimo para una refrigeración determinada entre dos regiones de temperatura constante y es por esto que este ciclo sirve como un parámetro de comparación para los ciclos de potencia reales.

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

El ciclo de Carnot consta de dos procesos isotérmicos y dos procesos adiabáticos donde las consideraciones de este conjunto de procesos son ideales y por tanto se trata de un ciclo reversible, la figura 5 muestra a detalle los procesos que se llevan a cabo durante este ciclo.

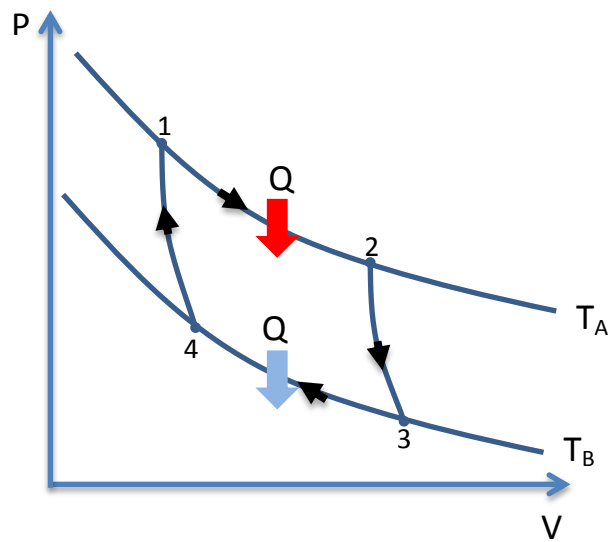


Figura 5. Ciclo de Carnot

En el proceso de 1 a 2 se emplea un fluido de trabajo, el cual es calentado desde una fuente de calor hasta una temperatura T_A logrando expandirse de forma isotérmica y transformando este incremento de volumen en trabajo mecánico como lo demuestra la primera ley de la termodinámica.

$$dU = \delta Q - \delta W$$

Si $T_{12} = \text{cte.}$, entonces $dU = 0$

$$\text{Y por tanto } \delta Q_{12} = \delta W_{12}$$

Para el proceso de 2 a 3 se muestra un proceso de expansión adiabática e isentrópica donde se registra una expansión en menor proporción al proceso anterior pero con una disminución en su temperatura hasta alcanzar una temperatura T_B , esto ocurre sin intercambio de calor pues el sistema se encuentra aislado y la primera ley de la termodinámica queda de la siguiente manera.

$$dU = \delta Q - \delta W$$

Si $\delta Q_{23} = 0$, entonces:

$$dU_{23} = -\delta W_{23}$$

El siguiente proceso de 3 a 4 se lleva a cabo de manera isotérmica nuevamente, pues el gas es puesto en contacto con una fuente a temperatura T_B lo cual implica que si no varía su temperatura ni su energía interna, el sistema debe suministrar trabajo para que el proceso se lleve a cabo bajo estas condiciones.

$$dU = \delta Q - \delta W$$

Si $T_{34} = \text{cte.}$, entonces $dU = 0$

$$\delta Q_{34} = \delta W_{34}$$

Finalmente para el proceso de 4 a 1 existe un proceso de compresión adiabática, pues el fluido es comprimido hasta alcanzar nuevamente la temperatura T_A para comenzar con un nuevo ciclo.

$$dU = \delta Q - \delta W$$

Si $\delta Q_{34} = 0$, entonces:

$$dU_{41} = -\delta W_{41}$$

Una manera más en la que se puede interpretar este ciclo se muestra en la figura 6, donde se representa el ciclo mediante un diagrama temperatura – entropía para entender mediante otras propiedades termodinámicas este ciclo.

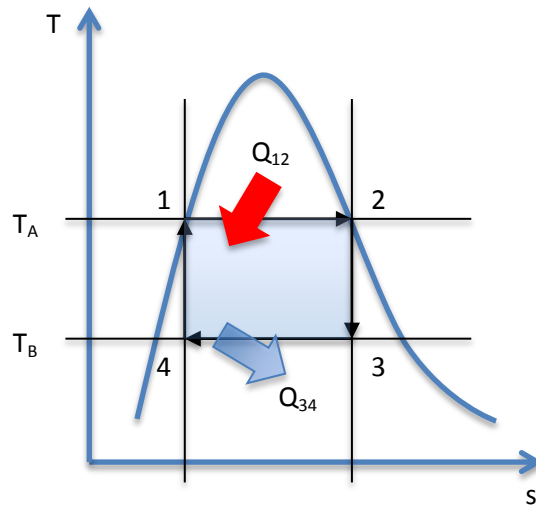


Figura 6. Diagrama T-s del ciclo de Carnot

Lamentablemente el ciclo de Carnot es un ciclo impráctico debido a la mezcla húmeda presente en la etapa de compresión y expansión pues es precisamente este flujo bifásico el responsable del daño en los alabes de la turbina y en los componentes del compresor, de tal modo que el ciclo que logró ser llevado a la práctica fue el de Rankine (figura 7), en donde no existen problemas con el estado bifásico del flujo al pasar por cada dispositivo mecánico ya que en este ciclo se garantiza vapor sobrecalentado en la admisión del compresor y líquido subenfriado en la admisión de la bomba.

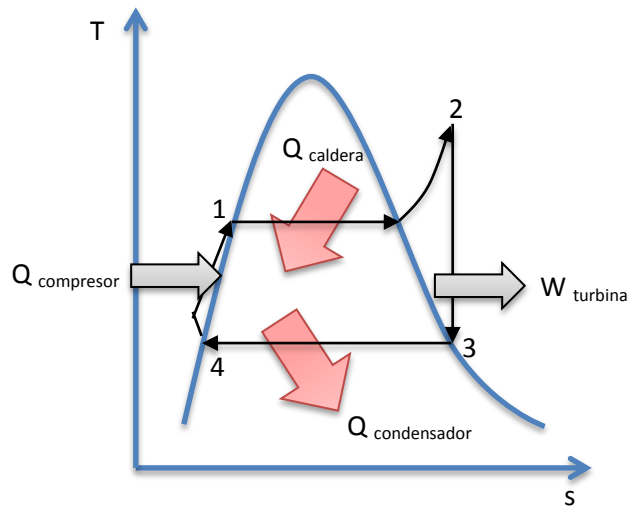


Figura 7. Ciclo Rankine ideal sobrecalentado

El ciclo de Carnot y de Rankine abren el panorama para comenzar la introducción al tema de la refrigeración mecánica por compresión de vapor, aunque cabe resaltar que existen otros ciclos termodinámicos con los cuales se puede lograr el efecto de refrigeración pero de los cuales no se realizará un análisis debido a las intenciones de este tema de investigación.

1.6 CICLO DE CARNOT INVERTIDO

Como ya se ha mencionado antes, la máquina térmica de Carnot es un ciclo reversible y por tanto se puede invertir el sentido de los cuatro procesos de los que consta dicho ciclo, al cambiar el sentido funcionará ahora como una máquina frigorífica; en este ciclo se llevan a cabo dos procesos isotérmicos y dos procesos isentrópicos. Como resultado de este cambio en la dirección del ciclo se tiene un proceso al cual se tiene que suministrar trabajo mecánico al sistema para poder lograr transferir calor de una región de baja temperatura a una región de alta temperatura, por lo cual si se desea extraer la mayor cantidad de energía de la fuente de calor, es deseable hacerlo con la menor cantidad posible de suministro de energía al sistema, lo cual es equivalente a una operación con la máxima eficiencia.

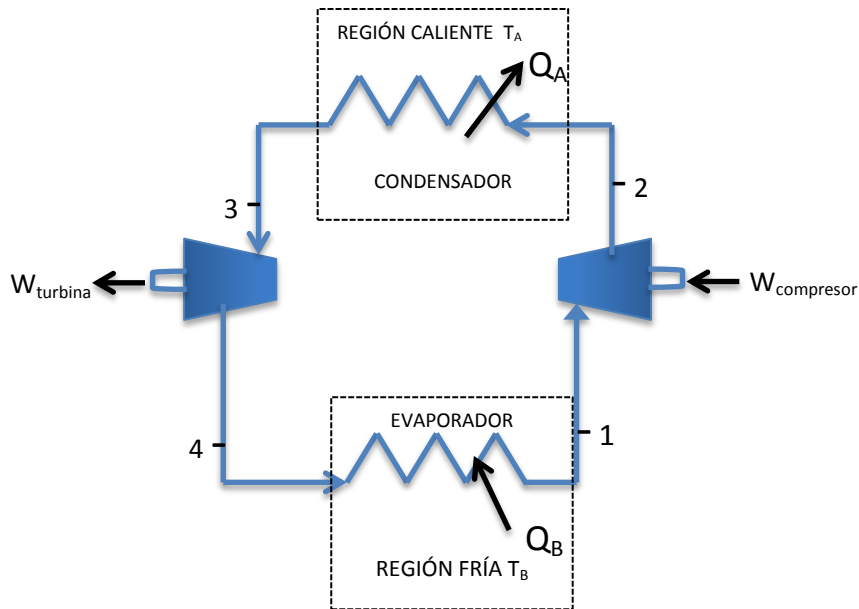


Figura 8. Esquema general de un ciclo de Carnot invertido funcionando como máquina frigorífica

La figura 8 muestra un esquema general de ciclo de Carnot invertido en el cual se pueden apreciar dos dispositivos donde se transfiere calor para cambiar de fase al fluido de trabajo y dos dispositivos que aportan y producen trabajo mecánico, la figura 9 nos permite visualizar los procesos termodinámicos de los cuales consiste el ciclo de Carnot invertido.

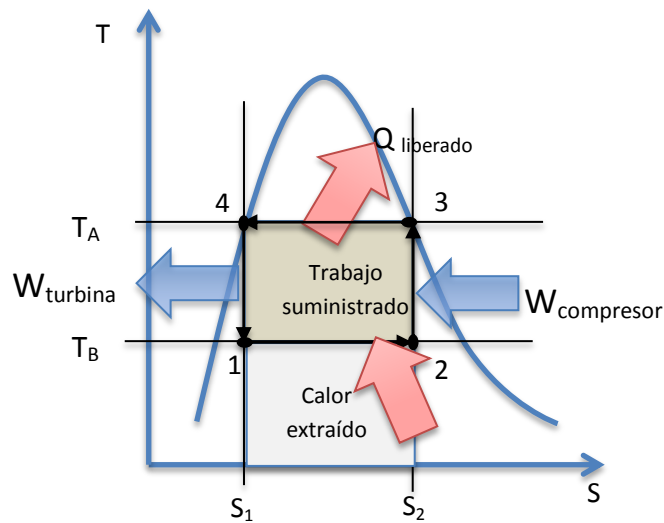


Figura 9. Diagrama T-s del ciclo de Carnot inverso

El fluido de trabajo experimenta un cambio de estado a temperatura constante debido al calor cedido por una fuente a T_B en el evaporador desde 1 hasta 2, posteriormente el trabajo aportado comprime el vapor isentrópicamente desde 2 hasta 3, en el condensador el fluido nuevamente experimenta un cambio de fase sin cambio de temperatura

liberando el calor a una región de mayor temperatura T_A desde 3 hasta 4 y finalmente el fluido se expande isentrópicamente desde 4 hasta 1 como se muestra en la figura 9.

Al evaluar la eficiencia de este ciclo, se realiza de manera análoga al análisis del ciclo directo de tal manera que al hacer un balance de energía se tiene que el calor rechazado es igual a la suma del trabajo suministrado al sistema con el calor extraído hacia el sistema representadas con las áreas bajo las líneas T_A y T_B respectivamente, en este caso ya no se desea evaluar la cantidad de trabajo obtenido, sino la cantidad de trabajo requerido para extraer una cantidad de calor dada de la fuente de baja temperatura, a esta relación de calor retirado y trabajo suministrado se le conoce con el nombre de COP (*Coefficient of Performance*) o coeficiente de operación, este parámetro se obtiene de la siguiente manera:

$$COP_{REF} = \frac{Q_{extraido}}{W_{suministrado}}$$

Donde para el ciclo de Carnot queda expresado de acuerdo a la figura 1.8 como se muestra a continuación:

$$Q_{extraido} = T_B(S_2 - S_1)$$

$$W_{suministrado} = T_A(S_2 - S_1)$$

$$COP_{Ref.Carnot} = \frac{T_B(S_2 - S_1)}{(T_A - T_B)(S_2 - S_1)} = \frac{T_B}{(T_A - T_B)} > 1$$

Cabe resaltar que para que el COP sea más grande T_A debe ser lo más baja posible y T_B lo más alta posible. El ciclo de Carnot invertido es un ciclo que no puede aproximarse a los dispositivos reales por lo tanto solo es empleado como referente estándar para los ciclos reales de refrigeración.

1.7 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Resulta bastante interesante saber que de la misma manera que se puede invertir el ciclo de Carnot o el de Rankine se puede realizar también para cualquier ciclo de potencia para obtener un efecto refrigerante de tal manera que cada uno de estos ciclos tiene sus aplicaciones específicas. En el caso de la refrigeración con fines de uso doméstico, la mayoría hace uso de un ciclo Rankine invertido o mejor conocido como ciclo ideal de

refrigeración por compresión de vapor. La mayoría del equipo que se utiliza en este tipo de ciclos es de dimensiones relativamente pequeñas con lo cual resultaría una inversión innecesaria el contemplar dentro del diseño, una turbina que genere trabajo a partir de la expansión del fluido, pues la cantidad de trabajo que puede entregar el ciclo es demasiado pequeña como para tener en cuenta tal inversión y que incluso operará con una eficiencia mínima. Por otra parte podemos evitar toda esta problemática al sustituir la turbina por un dispositivo de estrangulamiento isoentálpico el cual requiere un mantenimiento casi nulo y resulta en un costo muy pequeño. La figura 10 muestra el esquema resultante al realizar esta modificación.

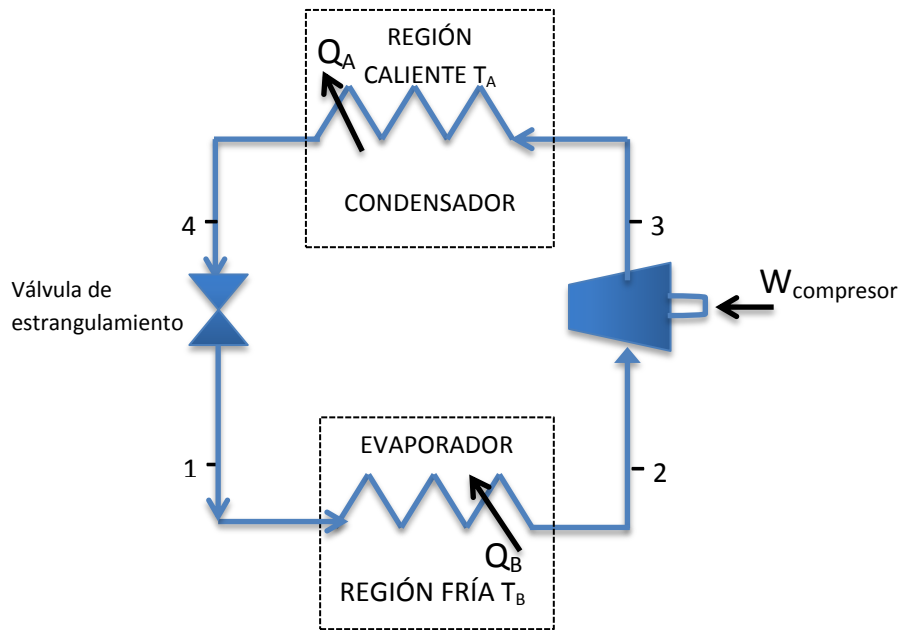


Figura 10. Esquema de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

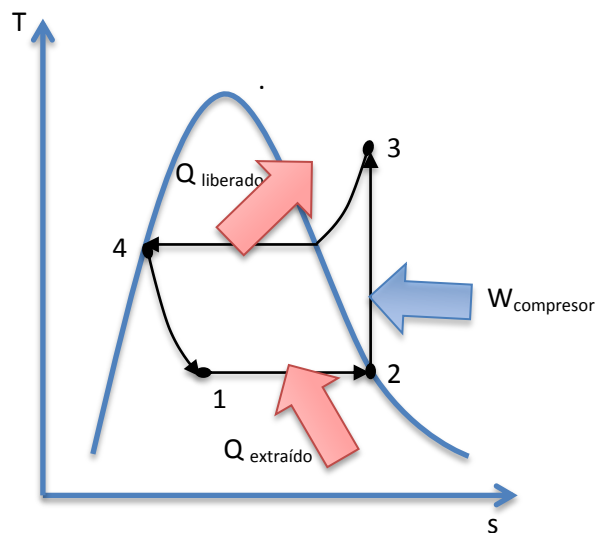


Figura 11. Diagrama general de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

Los cuatro dispositivos que componen al sistema son dispositivos de flujo estable por lo tanto todo el ciclo se puede analizar cómo proceso de flujo estable en cada una de las etapas, además en todos los procesos se desprecian pérdidas de presión por efectos de fricción, y pérdidas de calor aparte de las inherentes al mismo ciclo como lo muestra la figura 11 y en el cual cada uno de los procesos se describen a continuación.

1-2 Absorción de calor a presión y temperatura constante en el evaporador.

$$Q_{extraido} = h_2 - h_1 = h_2 - h_4$$

2-3 Compresión isentrópica.

$$W_{compresor} = h_3 - h_2$$

3-4 Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

$$Q_{liberado} = h_3 - h_4$$

4-1 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión a entalpia constante.

$$h_4 = h_1$$

El COP de este ciclo estará determinado únicamente por la cantidad de calor retirado en el evaporador y el trabajo neto suministrado al sistema de tal modo que la expresión correspondiente para encontrar este parámetro está dado por la siguiente expresión:

$$COP_{ref} = \frac{Q_{evaporador}}{W_{compresor}} = \frac{h_2 - h_4}{h_3 - h_2}$$

Nótese que el COP puede mejorar entre 2 y 4% por cada grado centígrado que aumenta la temperatura de evaporación o que disminuye la temperatura de condensación.

1.8 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Todo proceso o ciclo ideal sirve como referencia para diseñar y modelar procesos reales a partir de lo fácil y práctico que resulta analizar un proceso ideal sin embargo es

importante tener en cuenta que para tener un análisis más exacto es necesario contemplar los efectos de irreversibilidad que se puedan presentar durante cualquier proceso, tal es el caso del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, en el cual existen estos efectos principalmente en la etapa de estrangulación, así como las pérdidas de presión por efecto de la fricción y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores, de tal modo que al tomar en cuenta todo lo anterior se obtienen los siguientes cambios representados en la figura 12.

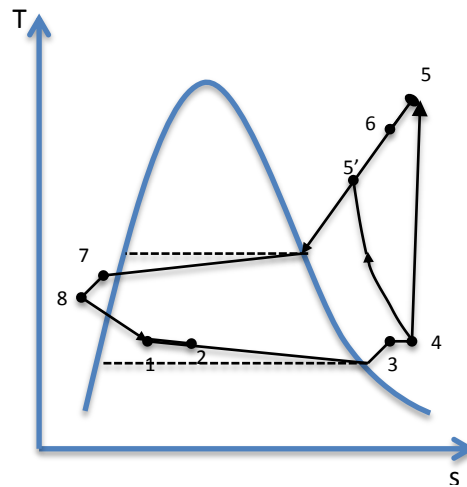


Figura 12 Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

Ref. Yunus A.Cengel 7ª ed

Los efectos irreversibles del ciclo pueden afectar de manera significativa su eficiencia y en algunas otras pueden mejorarla, tal es el caso del proceso de compresión en el cual es más deseable el proceso 4 – 5' ya que el volumen específico del refrigerante es mucho menor que un proceso totalmente isentrópico (proceso 4 – 5), y en consecuencia la cantidad de trabajo requerido en el compresor será de una cantidad menor. Tratar de controlar cada uno de los procesos con exactitud resulta bastante complicado y por tanto cada uno de los dispositivos mecánicos del sistema manejan un parámetro ligeramente mayor al indicado para su propósito con el fin de garantizar una operación continua y prolongada.

CAPITULO 2. IMPACTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con algún tipo de propuesta es necesario tener un amplio panorama acerca de la generación de energía eléctrica en el país, esto da una idea más clara acerca de la demanda y su uso para diferentes propósitos, esto es muy importante ya que de esta manera será posible comprender si efectivamente la refrigeración doméstica representa un consumo importante del total de la energía eléctrica que se genera en el país.

2.2 GENERACIÓN Y COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

La generación de energía eléctrica en México se remonta desde finales del siglo XIX donde todo comenzó con la instalación de la primera planta generadora mediante la inversión privada de una empresa textil, a partir de esa fecha comenzó a extenderse la instalación de plantas generadoras por todo el país con inversión puramente privada con el fin de impulsar pequeños sectores de la industria y marginalmente para iluminación residencial y pública. Fue en 1933 cuando finalmente se decretó que la generación y distribución de la energía eléctrica era tarea del estado y en 1960 se nacionalizó la industria eléctrica en el país, por tanto compañías extranjeras cedieron sus bienes e instalaciones a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) creada en 1937, de tal forma que esta empresa paraestatal comenzó a administrar, generar y distribuir la electricidad en forma total y definitiva, construyendo en un principio grandes plantas generadoras principalmente de tipo hidroeléctrica, actualmente CFE genera electricidad a partir de varias fuentes de energía y con ello logra una cobertura de más del 96% del servicio eléctrico a nivel nacional con una capacidad instalada hasta hoy de 52218 MW y una generación de 125,86 TWh, cabe señalar que estas cantidades son logradas en conjunto con los productores independientes de energía (PIE's), la tabla 1 muestra más a detalle la información.

Capacidad (MW)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013*
CFE	38 422	37 325	37 470	38 397	38 474	38 927	39 704	39 270	39 362	39 801
PIE's	7 265	8 251	10 387	11 457	11 457	11 457	11 907	11 907	12 418	12 418
Total	45 687	45 576	47 857	49 854	49 931	50 384	51 611	51 177	51 780	52 218
Generación (TWh)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013*
CFE	159.53	170.07	162.47	157.51	157.16	154.14	160.37	170.42	175.8	84.79
PIE's	45.85	45.56	59.43	70.98	74.23	76.5	78.44	84.26	81.73	41.07
Total	205.39	215.63	221.9	228.49	231.4	230.64	238.81	254.68	257.53	125.86

Tabla 1. Capacidad instalada y generación de energía eléctrica en el país hasta Junio 2013

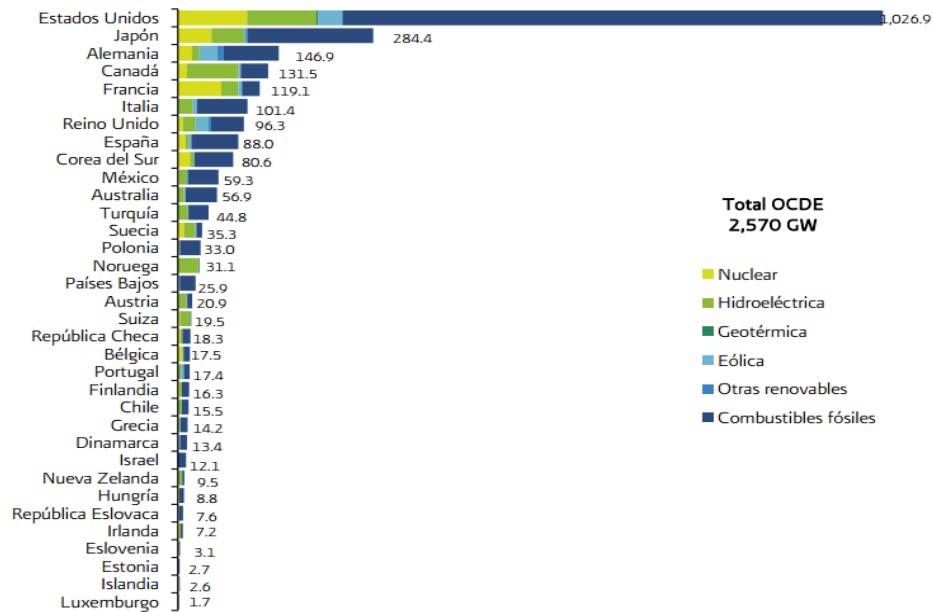


Figura 13. Capacidad de generación de energía eléctrica (GW) en países miembros de la OCDE, 2009

Fuente: Electricity information 2011, International Energy Agency.

A nivel mundial México ha ocupado en los últimos años un lugar dentro de los primeros 20 países que producen energía eléctrica y en el mismo rango dentro de los que la consumen como se puede observar en la figura 13, esto representa una buena posición que favorece al país para su desarrollo industrial ya que en la mayoría de los países, la generación de energía eléctrica está en su mayor proporción destinada al consumo industrial y otra buena parte al consumo residencial (figura 14).

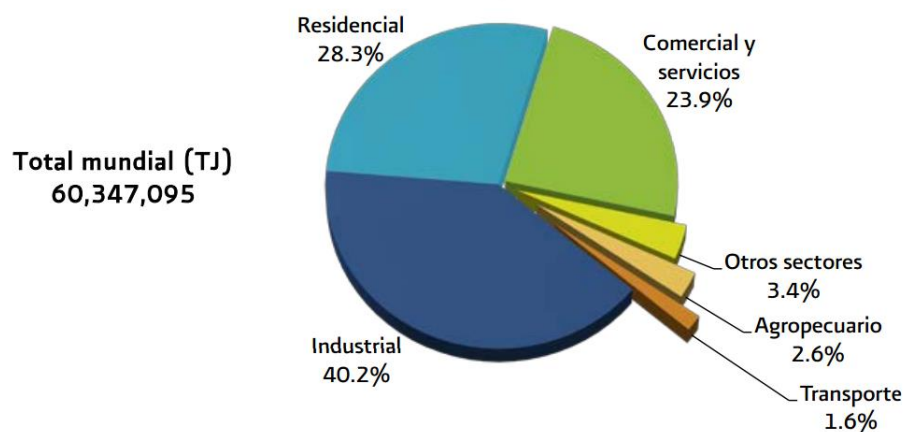


Figura 14. Consumo general de electricidad a nivel mundial en el 2011.

Fuente: Electricity information 2011, International Energy Agency.

México posee una gran variedad de recursos naturales y en ellos es posible encontrar diferentes fuentes de energía a partir de las cuales se obtiene diferentes tipos de generación de la energía eléctrica que abastece a todo el país y que se muestran en la tabla 2 en donde se puede notar que la mayor aportación está dada por el tipo de generación termoeléctrica pues resulta que México cuenta con una reserva importante de petróleo con lo que se puede satisfacer la demanda de los diferentes tipos de centrales termoeléctricas principalmente las que emplean combustóleo o diésel entre otros.

La participación que tienen los hidrocarburos en la generación alcanza hasta un 46% (tabla 3) con respecto a las demás fuentes, pues resulta que esta fuente de energía requiere una inversión de capital más pequeña por cada mega Watt generado en comparación a las demás, aunque por otra parte resulte contrastante el costo por cada mega watt generado, es decir que resulta más barato construir una central termoeléctrica que una central de otro tipo de generación, aunque al final resulte más caro generar cada kilowatt, sin embargo esto también es resultado de las legislaciones actuales en materia energética del país y es por esto que la mayor participación en la generación de energía eléctrica sea proveniente de este tipo de recursos aunque en la actualidad existe una tendencia de incremento en el uso de fuentes alternas como la geotermia en la que México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial lo cual representa una importante fuente de energía. Otra de las grandes desventajas de las centrales termoeléctricas es que son una de las principales generadoras de gases contaminantes que afectan el ambiente y que son los principales causantes del aumento de la temperatura del planeta y por ello es necesario reducir la demanda de este tipo de centrales.

Con base en esta información es posible entender que se necesita reducir el consumo eléctrico de todo electrodoméstico con el fin de reducir las emisiones contaminantes y sobre todo para hacer un uso más eficiente de la energía.

Tipo de generación	Capacidad efectiva en MW	Porcentaje
Termoeléctrica	23 407.79	44.83%
Hidroeléctrica	11 266.78	21.58%
Carboeléctrica	2 600.00	4.98%
Geotermoeléctrica	823 .40	1.58%
Eoloeléctrica	86.75	0.17%
Nucleoeléctrica	1 610.00	3.08%
Fotovoltaica	6.00	0.01%
Termoeléctrica (Productores Independientes)	11 906.90	22.80%
Eólica (Productores Independientes)	510.85	0.98%
Total	52 218.47	100%

Tabla 2. Capacidad efectiva instalada por tipo de generación al mes de junio de 2013

Fuente: Datos de la Comisión Federal de Electricidad 2013 de su sitio de internet.

Tipo de generación	Porcentaje
Geotermia	2.36 %
Carbón	6.40 %
Nuclear	4.75 %
Eólica	0.07 %
Fotovoltaica	0.01 %
Productores independientes	32.20%
Hidráulica	7.04 %
Hidrocarburos	46.75%

Tabla 3. Participación de generación por fuente

Fuente: Datos de la Comisión Federal de Electricidad 2013 de su sitio de internet.

Ahora bien una vez que se tiene una idea de la generación de energía eléctrica en México es necesario analizar el costo que representa generar cada kilowatt y hacer una comparación en cuanto la tarifa establecida por CFE ya que el costo real por cada kilowatt consumido en nuestros hogares se encuentra subsidiado lo que significa que la relación importe/costo de producción, se encuentra por debajo del 25% aun con las reformas actuales, esto tomando en cuenta que la paraestatal únicamente destina esta subsidio al sector residencial y agrícola de la misma manera que establece diferentes tarifas para cada región, basándose en la temperatura media mínima en verano pues resulta que en la zona norte del país se registran temperaturas extremas lo que representa un mayor consumo de electricidad y en mayor parte por las máquinas frigoríficas, ya sea para mantener los alimentos en buen estado o para confort de la población , por lo que estas

zonas reciben un mayor subsidio que las regiones donde se registra una menor temperatura en verano.

La tabla 4 muestra las tarifas establecidas hasta Agosto del 2013 del sector residencial para las diferentes regiones del país en donde se puede notar que conforme aumenta la temperatura media mínima de verano, menor es la tarifa, de la misma manera que también se ven beneficiados en el incremento del rango en el consumo eléctrico pues la cantidad de energía requerida en estas regiones exige una demanda mayor comparadas con otra regiones, ya que la mayor parte de esta energía eléctrica consumida está destinada para el funcionamiento de máquinas frigoríficas como los son refrigeradores, congeladores y sistemas de aire acondicionado, estas máquinas se ven forzadas a operar a su máxima potencia por periodos prolongados sobre todo en la temporada de verano y por tanto esto representa una importante suma de dinero al tratar de cubrir los gastos por el servicio eléctrico a pesar de todos los subsidios y ajustes a las tarifas.

TARIFA	TEMPORADA	RANGO DE CONSUMO [kWh]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TARIFA 1 Servicio doméstico		Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Intermedio 76-140	0.927	0.93	0.933	0.936	0.939	0.942	0.945	0.948	0.951	0.954	0.957	0.96
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
TARIFA 1A. Servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima de 25°C	Verano	Básico 1-100	0.679	0.681	0.683	0.685	0.687	0.689	0.691	0.693	0.695	0.697	0.699	0.701
		Intermedio 101-150	0.787	0.79	0.793	0.796	0.799	0.802	0.805	0.808	0.811	0.814	0.817	0.82
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
	Fuera de verano	Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Intermedio 76-150	0.927	0.93	0.933	0.936	0.939	0.942	0.945	0.948	0.951	0.954	0.957	0.96
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
TARIFA 1B. Servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima de 28°C	Verano	Básico 1-125	0.679	0.681	0.683	0.685	0.687	0.689	0.691	0.693	0.695	0.697	0.699	0.701
		Intermedio 126-225	0.787	0.79	0.793	0.796	0.799	0.802	0.805	0.808	0.811	0.814	0.817	0.82
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
	Fuera de verano	Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Intermedio 76-175	0.927	0.93	0.933	0.936	0.939	0.942	0.945	0.948	0.951	0.954	0.957	0.96
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
TARIFA 1C. Servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima de 30°C	Verano	Básico 1-150	0.679	0.681	0.683	0.685	0.687	0.689	0.691	0.693	0.695	0.697	0.699	0.701
		Intermedio bajo 151-300	0.787	0.79	0.793	0.796	0.799	0.802	0.805	0.808	0.811	0.814	0.817	0.82
		Intermedio alto 301-450	1.019	1.022	1.025	1.028	1.031	1.034	1.037	1.04	1.043	1.046	1.049	1.052
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
	Fuera de verano	Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
TARIFA 1D. Servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima de 31°C	Verano	Básico 1-175	0.679	0.681	0.683	0.685	0.687	0.689	0.691	0.693	0.695	0.697	0.699	0.701
		Intermedio bajo 176-400	0.787	0.79	0.793	0.796	0.799	0.802	0.805	0.808	0.811	0.814	0.817	0.82
		Intermedio alto 401-600	1.019	1.022	1.025	1.028	1.031	1.034	1.037	1.04	1.043	1.046	1.049	1.052
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
	Fuera de verano	Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
TARIFA 1E. Servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima de 32°C	Verano	Básico 1-300	0.561	0.563	0.565	0.567	0.569	0.571	0.573	0.575	0.577	0.579	0.581	0.583
		Intermedio bajo 301-750	0.71	0.712	0.714	0.716	0.718	0.72	0.722	0.724	0.726	0.728	0.73	0.732
		Intermedio alto 751-900	0.918	0.921	0.924	0.927	0.93	0.933	0.936	0.939	0.942	0.945	0.948	0.951
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
	Fuera de verano	Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
TARIFA 1F. Servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima de 33°C	Verano	Básico 1-300	0.561	0.563	0.565	0.567	0.569	0.571	0.573	0.575	0.577	0.579	0.581	0.583
		Intermedio bajo 301-1200	0.71	0.712	0.714	0.716	0.718	0.72	0.722	0.724	0.726	0.728	0.73	0.732
		Intermedio alto 1210-2500	1.703	1.709	1.715	1.721	1.727	1.733	1.739	1.745	1.751	1.757	1.763	1.769
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808
	Fuera de verano	Básico 1-75	0.759	0.761	0.763	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.78	0.783	0.786	0.789
		Excedente	2.709	2.718	2.727	2.736	2.745	2.754	2.763	2.772	2.781	2.79	2.799	2.808

Tabla 4. Las siete tarifas establecidas por CFE para el sector residencial

Fuente: Datos de la Comisión Federal de Electricidad 2013 de su sitio de internet

2.3 CONSUMO ELÉCTRICO EN EL HOGAR

Antes de realizar cualquier propuesta que permita un ahorro energético, es necesario elaborar un estudio de la cantidad de energía eléctrica promedio que se consume en los hogares para poder corroborar que efectivamente son las máquinas frigoríficas las que representan el mayor consumo energético y de tal forma poder evaluar el efecto que representa el consumo del refrigerador de un hogar al momento de cubrir la tarifa del servicio eléctrico.

Lo primero a realizar es tratar de identificar aquellos electrodomésticos que son básicos de cualquier hogar y en seguida tratar de establecer el tiempo que se mantienen encendidos cada uno de estos aparatos con el fin de calcular el costo generado por la energía eléctrica consumida en un periodo de 30 días basado en una tarifa establecida para la ciudad de México ya que serán bajo las condiciones climáticas de dicha ciudad con la que realizaran las pruebas de las diferentes propuestas generadas en esta investigación.

A continuación se despliega una tabla con los electrodomésticos básicos de un hogar promedio y la potencia eléctrica que demanda cada uno de estos, para realizar una comparativa entre ellos y determinar si efectivamente la energía eléctrica consumida por un refrigerador representa una mayoría del consumo total.

ELECTRODOMÉSTICO	NÚMERO DE UNIDADES	POTENCIA ELÉCTRICA [Watts]	TIEMPO DE USO AL DÍA [Periodos típicos]	CONSUMO O DIARIO [kWh/día]	CONSUMO MENSUAL [kWh]
Lámpara de iluminación	10	23	5 horas/día	1.15	34.5
Televisor LCD 32"	2	130	5 horas/día	1.3	39
Computadora portátil	1	70	3 horas/día	0.21	6.3
Computadora de escritorio	1	120	4 horas/día	0.48	14.4
Horno de microondas	1	800	0.5 horas/día	0.4	12
Horno eléctrico	1	1000	0.5 horas/día	0.5	15
Equipo de sonido	1	60	2 horas/día	0.12	3.6
Refrigerador	1	290	8 horas/día	2.32	69.6
Bomba de agua	1	350	0.3 horas/día	0.105	3.15
Plancha	1	1000	0.3 horas/día	0.3	9
Lavadora	1	400	4 horas/semana	0.22	6.6
Reproductor de video	1	25	5 horas/semana	0.018	0.54
Consola de videojuegos	1	90	2 horas/día	0.18	5.4
Secadora de pelo	1	1600	0.15 horas/día	0.24	7.2
Licuada	1	350	0.15 horas/día	0.0525	1.575
Aspiradora	1	750	0.3 horas/día	0.225	6.75

Total = 243.615 [kWh/mes]

Tabla 5. Cantidad de energía consumida por electrodomésticos

Con base a estos resultados es posible establecer que la demanda energética de un refrigerador doméstico representa el mayor porcentaje de la cantidad consumida en un periodo establecido para un periodo de 30 días, y en este caso representa el 29.6% del total de energía consumida para este planteamiento en donde cabe mencionar que no se puede asegurar que este sea el electrodoméstico de mayor consumo en un hogar ya que se trata de un caso hipotético en la ciudad de México donde no se incluye dentro de la lista los equipos de aire acondicionado, siendo estos los de mayor consumo, una vez aclarado esto, es necesario realizar el cálculo para determinar el equivalente de este consumo calculado en pesos, por lo que se establecerá una tarifa 1A en temporada de verano para el mes de Abril, de tal manera que la expresión para el cálculo es la siguiente:

$$\text{Total a pagar} = (100\text{kWh} \times 0.685) + (50\text{kWh} \times 0.796) + (84.615\text{kWh} \times 2.736)$$

$$\text{Total a pagar} = \$ 339.8$$

Con lo que es prudente asegurar que este electrodoméstico en particular necesita una mayor atención con el fin de realizar un análisis total de su diseño, materiales y proceso de operación, todo esto orientado a generar una serie de modificaciones que permitan de alguna manera reducir su consumo eléctrico y que se vea reflejado en el monto generado por concepto del servicio eléctrico.

2.4 INVESTIGACIÓN DE DIFERENTES PROPUESTAS PARA OBTENER UN AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO.

Existen diferentes vías para tratar de reducir el consumo energético en un refrigerador, algunas de estas pueden resultar más complicadas que otras, como ejemplo se enlistan algunas de las ideas que se presentan en la mayor parte de los casos.

- Mejoras en el control del sistema eléctrico y electrónico.
- Mejoras en el rendimiento del compresor.
- Optimización de las propiedades del gas refrigerante.
- Mejora en los materiales de aislamiento térmico.
- Cambio de tipo de alimentación de AC a DC.
- Optimización de la distribución de los alimentos y el aire frío.

Hasta el momento no se posee mucha información del avance técnico en estas alternativas para la reducción del consumo energético, sin embargo dentro del área de la ingeniería mecánica es posible tratar de adentrarse en alguna de estas opciones.

Con base a los resultados antes obtenidos, lo siguiente es comenzar a generar una serie de propuestas que tengan como objetivo reducir el consumo eléctrico de un refrigerador doméstico, estas propuestas deberán ser analizadas de tal manera que contengan los argumentos necesarios en base a un análisis cuantitativo para poder determinar si la posible propuesta deberá ser aceptada o rechazada según sea el caso, por el momento solo se generaran las propuestas en este capítulo sin realizar un análisis matemático a fondo, de tal manera que solo se realizará un estudio cualitativo tratando de enlistar ventajas y desventajas para cada propuesta generada.

Antes de continuar es necesario tratar de establecer un modelo comercial que permita establecer los parámetros con los cuales se realizaran los análisis correspondientes, y con base en ello lograr determinar qué tipo de cambios se pueden realizar en cuanto a su diseño y operación.

El modelo que se tomará como referencia será un modelo que se encuentra en la mayoría de los hogares por efecto de su tamaño disposición y practicidad y distribución de espacio disponible en la mayoría de las viviendas, la figura 15 muestra el modelo del cual partirán las propuestas.

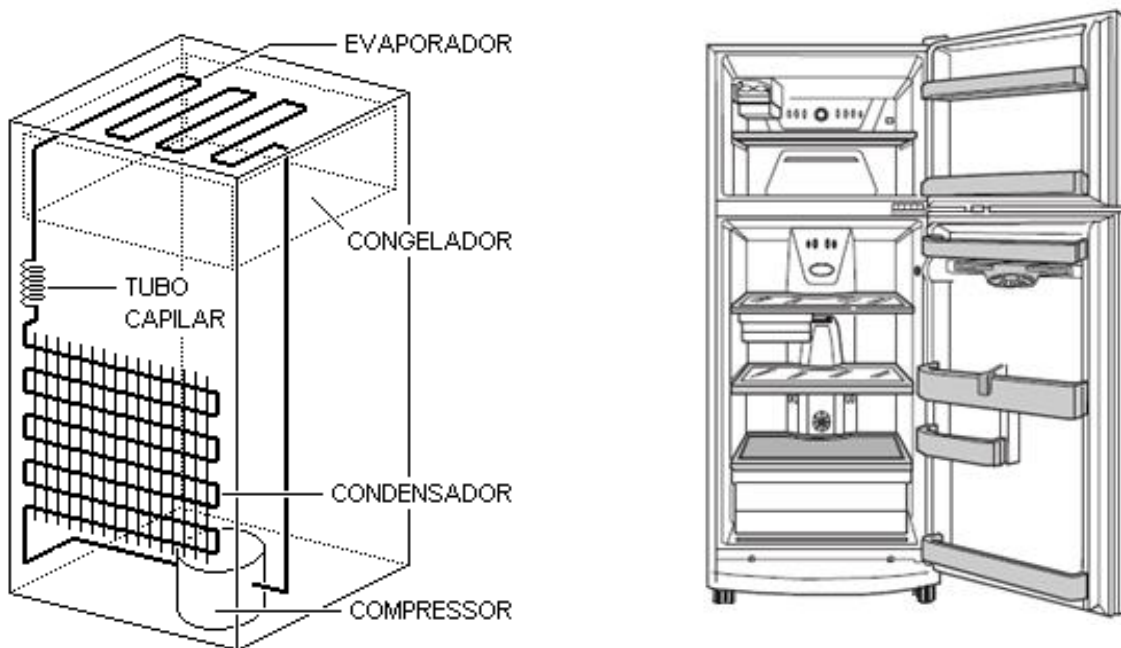


Figura 15. Concepto de Refrigerador-congelador con deshielo automático y compartimento de congelador independiente montado en la parte superior, sin despachador de hielo

En la figura 15 se puede apreciar la distribución de los componentes del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, así como las diferentes secciones del refrigerador donde es necesario aclarar que este modelo emplea cámaras de refrigeración y congelación totalmente separadas, en donde el aire frío únicamente fluye por ductos y zonas restringidas desde la cámara de congelación hasta la cámara de refrigeración mediante una convección forzada o en algunos casos de manera natural. Otro de los aspectos necesarios para poder establecer este modelo es establecer los datos técnicos en cuanto se refiere a la capacidad y consumo eléctrico principalmente, por lo que a continuación se muestran estas características.

Ficha técnica del modelo de referencia:

Capacidad	15 ft ³ ~ 420 dm ³
Tensión de alimentación	127 V ±10%
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Potencia nominal	140 Watts ~ 1/5 hp
Potencia en fase de deshielo	230 Watts
Temperatura en el congelador	0 a -9.4°C
Temperatura el compartimento de alimentos	4 ± 3°C

Ahora que se han establecido las características del refrigerador es importante establecer el tiempo de operación, es decir el numero veces se enciende y se apaga el compresor durante un periodo de 24 horas para poder determinar la cantidad de energía consumida por este electrodoméstico. Un punto importante dentro de este estudio es tratar de entender que durante el día suele ser más común la apertura y cierre de las puertas de un refrigerador debido a las actividades cotidianas, además de que durante el periodo comprendido entre las 9 y 20 horas del día se registran las temperaturas más altas y en el periodo de 23 a 7 horas del día se registran las temperaturas más bajas, por ello es necesario comprender que la operación del ciclo de refrigeración puede variar depende el horario del día ya que mientras más veces se abran las puertas del refrigerador mayor será la cantidad de infiltraciones, es decir aire caliente que fluye hacia el interior del refrigerador que da como consecuencia el arranque nuevamente del ciclo hasta alcanzar su temperatura optima de refrigeración lo que implica un mayor consumo energético.

Por otra parte al haber una mayor temperatura en el ambiente mayor será el tiempo de operación del ciclo pues a pesar de que se cuente con un buen aislamiento térmico siempre resulta más complicado alcanzar la temperatura de refrigeración demandada, en cambio durante la noche suele ser menos frecuente la apertura de las puertas del refrigerador y por tanto la temperatura interna se mantendrá por más tiempo lo que obliga al sistema a operar en un periodo más corto y menos frecuente además de que la baja temperatura del ambiente contribuye a tal propósito.

En base a lo anterior es posible comenzar a generar las ideas que permitan el desarrollo de mejoras en el proceso de la refrigeración ya sea tratando de rediseñar los componentes que conforman al ciclo o simplemente tratar de recomodar los componentes que conforman a todo el refrigerador con el fin de averiguar si de esta manera es posible generar un cambio que se vea reflejado en una disminución del consumo energético, a continuación se presentan tres propuestas que se han generado en base a lo anteriormente comentado y en base a las herramientas y tecnología disponible para poder idear estos cambios:

Propuesta 1

El principal componente de un ciclo por refrigeración mecánica es el compresor que en el más común de los casos se trata de un compresor reciprocante alimentado con corriente alterna por lo que en consecuencia es necesario analizar su diseño, función y comportamiento dentro del ciclo a diferentes condiciones, una de las preguntas que podemos hacernos es ¿Por qué es que el compresor arranca con toda su potencia cada vez que se reinicia el ciclo en caso de que solo se requiera una fracción de su potencia para alcanzar su meta?. Pues es precisamente esta pregunta la que permite analizar un posible cambio en la forma en que opera el compresor, es decir tratar de variar la frecuencia con el propósito de emplear la potencia necesaria según la demanda de la carga térmica dentro del refrigerador, esto sería factible al adaptar un variador de frecuencia al compresor como se muestra en la figura 16 y analizar el comportamiento del ciclo con una variación en la potencia del compresor.

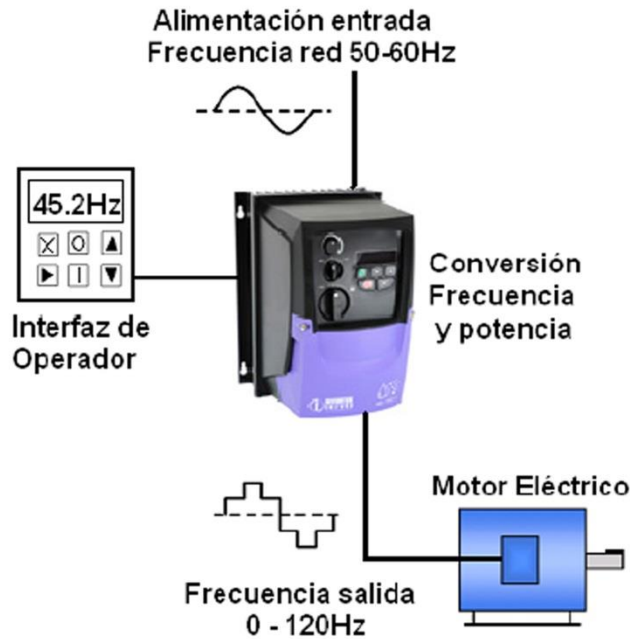


Figura 16. Esquema de la propuesta 1 implementando un variador de frecuencia en motor eléctrico del compresor

Propuesta 2

Sería posible alcanzar un ahorro energético al tratar de fraccionar el ciclo, es decir tratando de dividir en tres partes tanto el evaporador como el condensador tratando de interconectarlos y sincronizarlos con el propósito de utilizar cada una de las fracciones dependiendo la demanda de la carga térmica dentro del refrigerador, esta propuesta puede aparentar ser complicada si no se hace empleo de válvulas automatizadas que permitan y obstruyan el paso del refrigerante a las restantes fracciones como lo muestra la figura 17, incluso esto podría ser llevado a cabo con una serie de sensores que al registrar la carga térmica activen el número de válvulas necesarias para alcanzar el objetivo, sin embargo una de las desventajas de esta idea es que sería costosa por los componentes que deben de añadirse además de que la sincronización y acoplamiento de cada fracción sería un proceso muy detallado y cuidadoso.

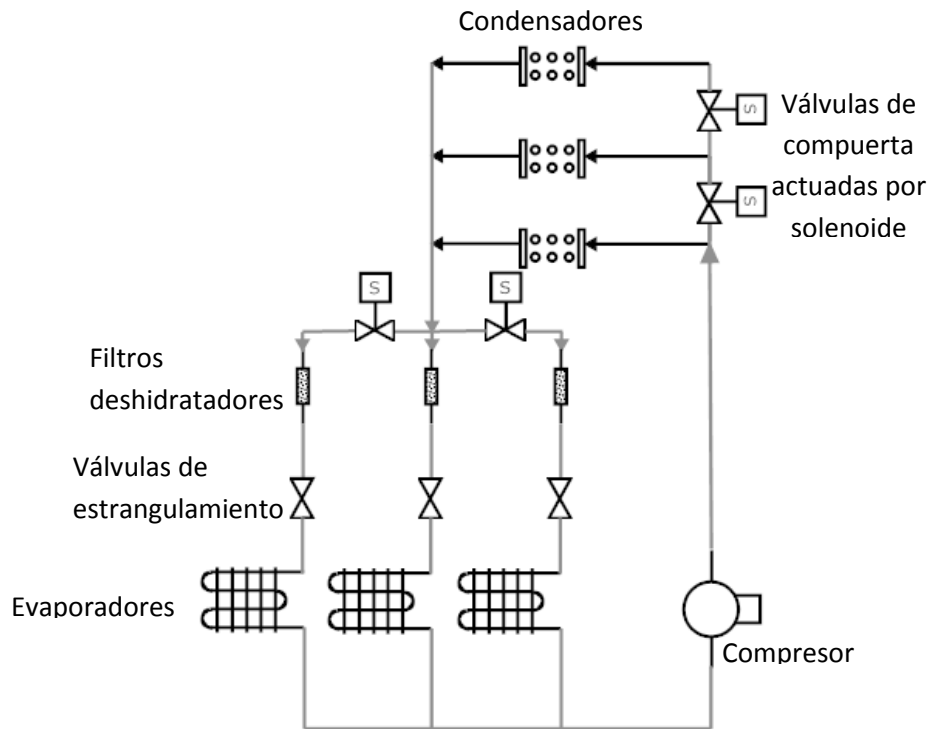


Figura 17. Diagrama tubería e instrumentación de la propuesta para un ciclo de refrigeración fraccionado

Propuesta 3

Existe en la mayoría de los refrigeradores una orientación en las placas del evaporador muy particular lo cual da origen a otra pregunta ¿Será posible que al cambiar la orientación de las placas del evaporador en el compartimento del congelador se logre alcanzar en menor tiempo la temperatura requerida (0 a -9.3°C)? la respuesta podría encontrarse al recabar los datos en un banco de pruebas que nos permita comparar y realizar un análisis antes de realizar cualquier aseveración, para esta propuesta resulta más sencillo llevar a cabo el experimento ya que no se requiere de equipo e instrumentación inaccesible y difícil de operar (figura 18).

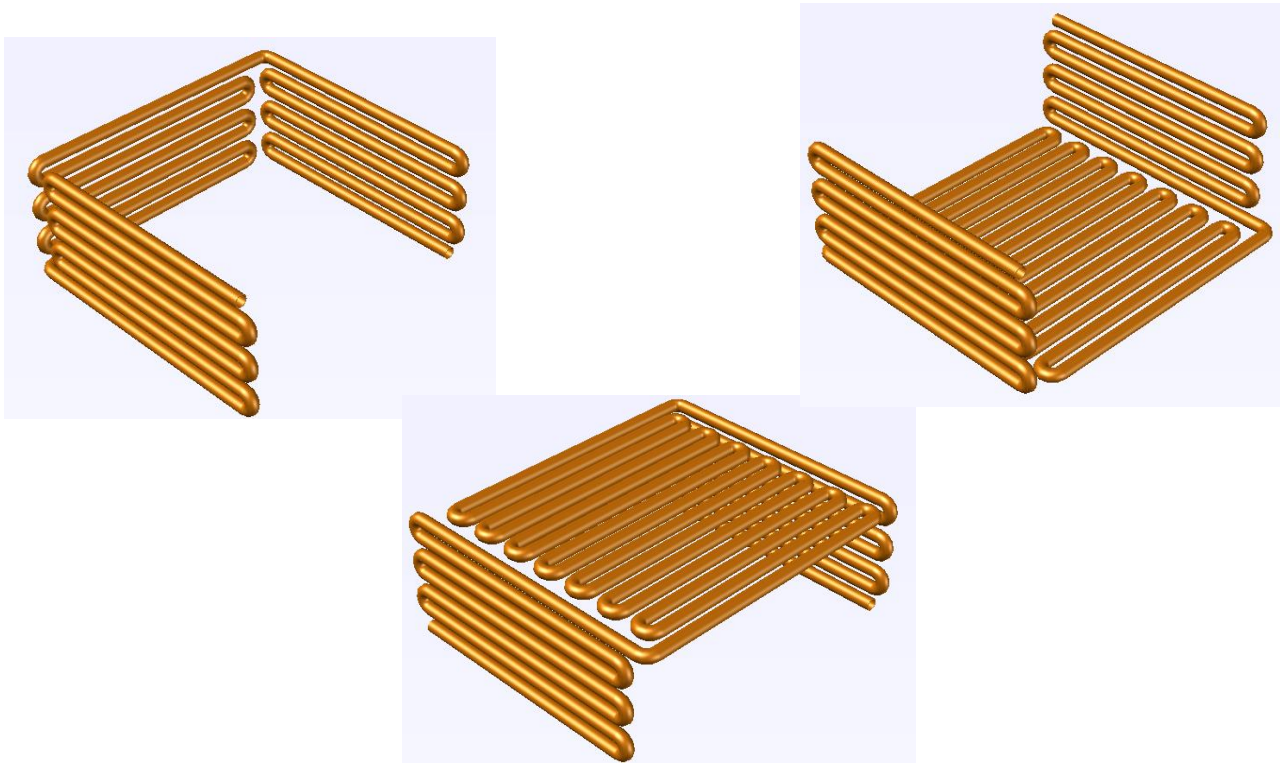


Figura 18. Muestras de los diferentes arreglos de las placas del evaporador de un refrigerador doméstico.

CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizara la elección de la propuesta más viable para llevarse a cabo a una experimentación, así como la selección de los materiales y equipo requerido para construir el banco de pruebas de donde se obtendrá la información correspondiente para su análisis.

3.2 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PREVIAS

Para comenzar el desarrollo del banco de pruebas de una de las propuestas, será necesario realizar una evaluación rápida que permita determinar cuál de estas propuestas posee las mejores características y así elegir la opción que más convenga para dar comienzo al desarrollo del proyecto y realizar las pruebas necesarias.

3.2.1 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 1

Se sabe que los compresores empleados en refrigeración son de tipo hermético recíprocante, esto significa que es impulsado por un motor eléctrico que mediante el acople de un cigüeñal se transfiere movimiento a través de la biela al pistón dentro del cilindro procurando en un recorrido sencillo el efecto de succión y en el retorno el efecto de compresión y descarga por el juego sincronizado de las válvulas de admisión e impulsión.

Dentro de los motores eléctricos incluyendo el de un compresor hermético, existe una relación entre la rotación, la frecuencia de alimentación, el número de polos y el deslizamiento de un motor de inducción obedece a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{120f}{p} (1 - s) \quad \text{ec. 3.1}$$

Dónde:

n: velocidad de rotación mecánica (rpm).

f: frecuencia fundamental de la tensión de alimentación (Hz).

p: número de polos.

s: deslizamiento.

El análisis de la fórmula demuestra que se puede actuar en tres parámetros, con el intento de variar la velocidad de un motor de este tipo según como se muestra en la tabla 6.

Variación de velocidad	
Parámetros de variación de velocidad	Características de aplicación
Numero de polos	Variación discreta
	Sobredimensionamiento de la carcasa
Deslizamiento	Variación continua
	Pérdidas del rotor
	Rango de variación pequeña
Frecuencia de tensión del estator	Variación continua
	Uso de convertidores de frecuencia

Tabla 6. Parámetros de variación de velocidad en un motor eléctrico

En la industria es muy común el accionamiento de motores eléctricos de inducción por convertidores estáticos de frecuencia (variadores de frecuencia), por lo que para el caso de la industria de la refrigeración podría ser también satisfactorio, en el caso de esta propuesta se pretende acoplar un variador de frecuencia al motor eléctrico que se encuentra integrado en el compresor hermético, tratando de lograr algún tipo de ahorro energético, sin embargo una de las limitantes para este caso se encuentra en el costo del equipo ya que en el mercado existen variadores de frecuencia con un valor promedio de 2800 pesos para motores de $\frac{1}{2}$ de hp, en la mayoría de los casos se ofrecen estos equipos que pueden ser alimentados con 115 VAC con 50 o 60 Hz en una fase y entregan de 220 hasta 240 VAC con una frecuencia de 0 a 400 Hz para alimentar motores con conexión trifásica.

Un inconveniente para este caso es que el motor empleado en un refrigerador doméstico requiere una alimentación monofásica y actualmente en el mercado no existe un variador de frecuencia que entregue el mismo número de fases a la salida. Estos equipos podrían ofrecer grandes ventajas en refrigeradores o congeladoras grandes donde se emplean motores trifásicos superiores a 3 hp en donde el resultado se podría observar en la reducción de la corriente demandada al momento del arranque de los compresores lo que lleva a un ahorro de la demanda energética contratada así como una reducción en el desgaste de los componentes mecánicos y en consecuencia una reducción en los gastos de mantenimiento.

Para entender aún mejor el cómo influye un variador de frecuencias acoplado a un motor eléctrico de inducción será necesario hacer uso de algunas expresiones matemáticas y gráficos que ayuden a comprender el cómo puede ayudar un variador de frecuencia en este tipo de aplicaciones.

Los convertidores transforman la tensión de la red, de amplitud y frecuencia constantes, en una tensión de amplitud y frecuencia variables. Con la variación de la frecuencia de la tensión de alimentación, se varía también la velocidad del campo girante y consecuentemente la velocidad mecánica de rotación de la máquina.

El par desarrollado por el motor de inducción sigue la ecuación:

$$T = k_1 \phi_m I \quad \text{ec.3.2}$$

y su flujo magnético, despreciándose la caída de tensión ocasionada por la resistencia y por la reactancia de los devanados estatóricos:

$$\phi_m = k_2 \frac{V}{f} \dots \text{ec.} \quad 3.3$$

Donde:

T : par o conjugado disponible en la punta de eje. (Nm).

ϕ_m : Flujo de magnetización (Wb).

I : Corriente en el rotor (A) que depende de la carga.

V : Tensión en el estator (V).

k1 y k2 : Constantes que dependen del material y del diseño de la máquina.

Admitiéndose, que la corriente depende de la carga y que esta es constante (por tanto, corriente prácticamente constante), donde variando proporcionalmente la amplitud y la frecuencia de la tensión de alimentación, el flujo y, consecuentemente, el par permanecen constantes. El motor entonces provee un ajuste continuo de velocidad y par con relación a la carga mecánica. Las pérdidas pueden ser minimizadas de acuerdo con las condiciones de carga, manteniéndose constante el deslizamiento de la máquina en cualquier velocidad, para la misma carga. A partir de las ecuaciones anteriores, se obtienen la siguientes gráficas (figura 19).

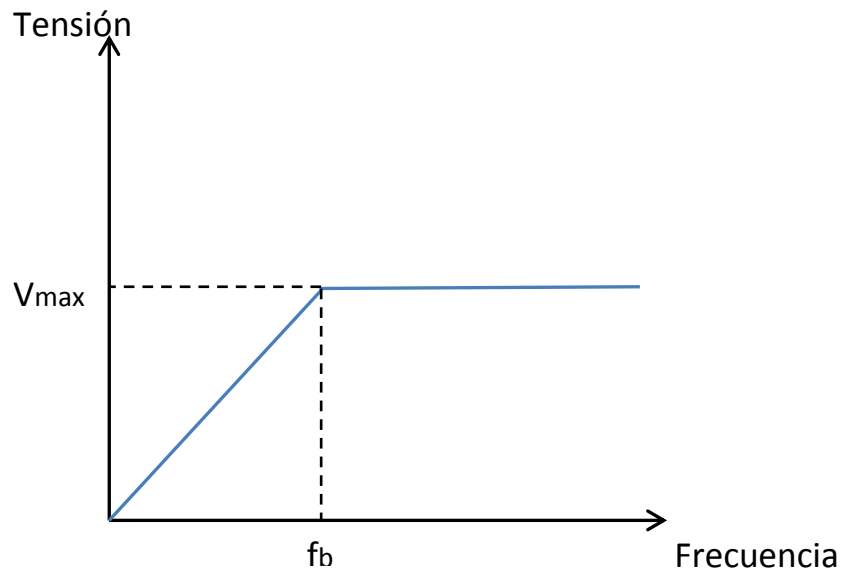


Figura 19. Grafica de relación V/f para un variador de frecuencia

La variación de la relación V/f está definida linealmente hasta la frecuencia base (nominal) del motor. Arriba de esta, la tensión es máxima (igual a la nominal) y permanece constante, habiendo entonces solamente la variación de la frecuencia aplicada al devanado estatórico del motor.

Así, arriba de la frecuencia base se encuentra la llamada región de reducción de campo, pues allí el flujo decrece con el aumento de la frecuencia, causando también la disminución de par. La curva característica par x velocidad del motor accionado por convertidor de frecuencia está representada por la figura 20.

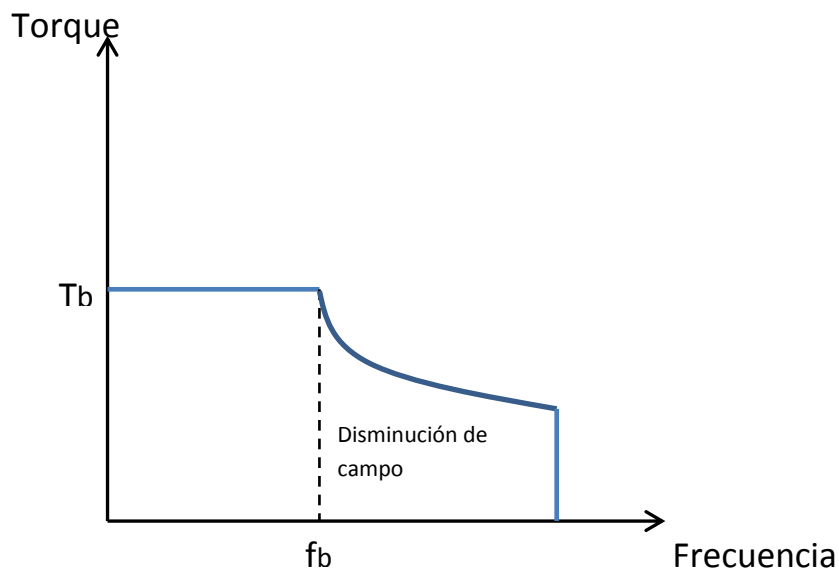


Figura 20. Grafica de la relación torque y frecuencia en un motor eléctrico.

Se nota, por tanto, que el par permanece constante hasta la frecuencia base y decrece gradualmente arriba de esta. Como $P = \tau \times \omega$, la potencia útil del motor crece linealmente hasta la frecuencia base y permanece constante arriba de esta, según se puede observar en la figura 21.

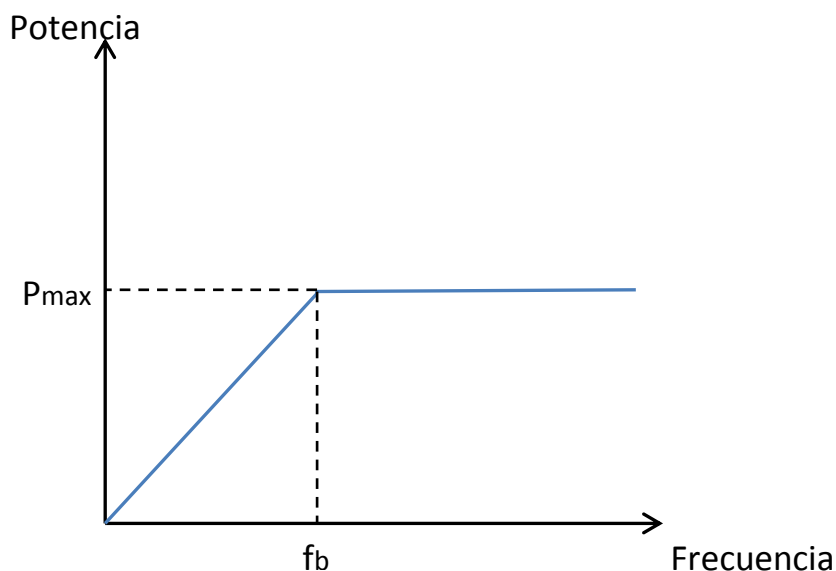


Figura 21. Grafica de relación potencia y frecuencia para un motor eléctrico.

Para concluir es necesario desplegar una lista con las ventajas y desventajas que ofrece la instalación de un variador de frecuencia en el motor eléctrico de un compresor hermético para refrigeradores domésticos.

VENTAJAS

- Son equipos relativamente pequeños que se pueden colocar fácilmente dentro de un lugar estratégico dentro del refrigerador.
- Reduce la demanda de corriente al arranque generando y por consiguiente un ahorro energético
- Reducción en el desgaste de los componentes mecánicos y componentes eléctricos, reflejado en un ahorro en los costos por mantenimiento.

DESVENTAJAS

- Estos equipos entregan tres fases a la salida por lo cual no es posible realizar la conexión ya que el motor eléctrico del compresor es de alimentación monofásica.

- El equipo es caro comparándolo con el compresor cuyo precio representa una inversión mayor a la de un compresor de $\frac{1}{2}$ de hp.
- Es necesario apegarse a las especificaciones del fabricante del compresor ya que la mayoría de los compresores no se encuentran configurados para una adaptación directa a un variador de frecuencia además de que el uso de estos dispositivos son para el uso de motores trifásicos asincrónicos.

En conclusión se puede decir que la adaptación de variadores de frecuencia con salida trifásica a motores de compresores fraccionarios de alimentación monofásica resulta en un experimento bastante complejo, pues la inversión de tiempo y dinero pudiera no ser proporcional al ahorro energético esperado, por todo lo antes mencionado es posible descartar por el momento esta propuesta para el logro de un ahorro energético.

3.2.2 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 2

Esta propuesta conlleva a un análisis termodinámico más elaborado ya que para poder fraccionar el ciclo es necesario analizar las consecuencias que el equipo experimentaría en caso de variar el área de transferencia de calor y las complicaciones que contempla el tratar de sincronizar el cierre y apertura de válvulas con precisión, estas válvulas requieren una automatización controlada por un sensor capaz de enviar la señal en tres condiciones de carga térmica en el refrigerador, se sugiere que las válvulas sean accionadas por solenoides que abran o cierren según la señal enviada.

Para el análisis de esta propuesta se requiere llevar a cabo el experimento en un banco de pruebas en donde sería necesario implementar instrumentos de medición de temperatura y de presión en cada punto del proceso termodinámico, esto con el fin de poder tener los valores que permitan realizar los cálculos con las ecuaciones correspondientes, sin embargo esto nos llevaría a una tarea complicada, pues con un simple análisis es fácil entender que al variar el área en el evaporador el ciclo sufrirá algún tipo de consecuencia ya que el compresor no está diseñado para trabajar con una variación de flujo intermitente.

Por otra parte sería posible variar el flujo con ayuda de un variador de frecuencia, pero por lo antes mencionado en la propuesta 1 sería bastante complicado realizar esta maniobra, en pocas palabras esta propuesta podría ser una posible opción, siempre y cuando esta se pudiera llevar a la experimentación para obtener algunas conclusiones.

3.2.3 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 3

En los refrigeradores de uso doméstico se puede encontrar generalmente un patrón en la orientación de las caras o placas que conforman al evaporador que es la sección que corresponde a la cámara congeladora, en algunas ocasiones esta cámara se encuentra totalmente aislada de la cámara de refrigeración y en algunas otras se puede encontrar un sección auxiliar del evaporador dentro de la cámara de refrigeración (Figura 22) para ayudar a mantener algunos productos como carnes y lácteos en mejores condiciones por un mayor periodo de tiempo.

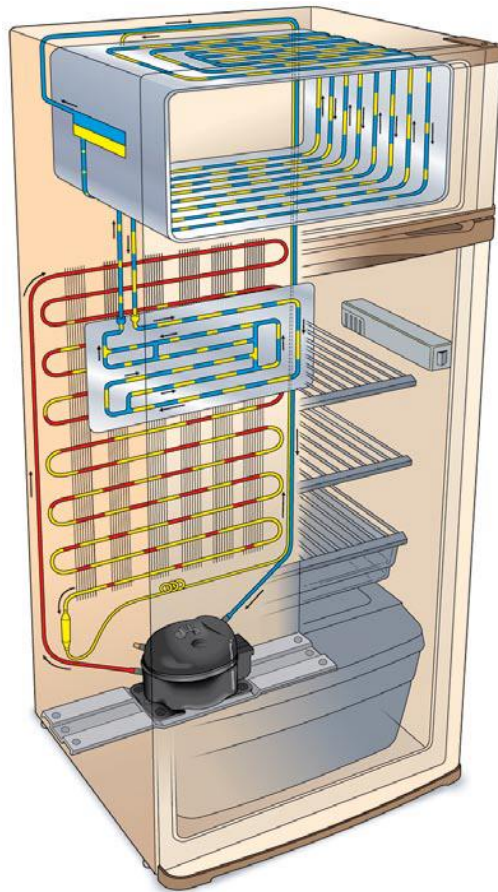


Figura 22. Distribución típica de las placas del evaporador dentro de un refrigerador doméstico.

La propuesta 3 consiste en plantear el cambio en la orientación de las placas del evaporador con el fin de identificar alguna variación que permita obtener las condiciones finales de temperatura en un menor lapso de tiempo en el congelador, lo que en consecuencia lograría también alcanzar condiciones finales de temperatura en la cámara

de refrigeración en un menor rango de tiempo y por tanto el termostato o sensor que enciende y apaga el ciclo realizaría su función logrando que el sistema trabaje durante menos tiempo, dando como resultado un ahorro energético, estas condiciones pueden no cumplirse si se tratase de cámaras aisladas.

Para lograr encontrar esta distribución de temperaturas dentro del congelador sería necesario hacer uso de sensores de temperatura conectados a una computadora para que registren en un tiempo determinado la temperatura del aire frío que circula alrededor de ellos, con esto sería posible identificar con cuál de las configuraciones en las placas se obtiene la temperatura final en menor tiempo.

El material propuesto para realizar esta prueba es el siguiente:

- Sensores basados en materiales semiconductores aptos para el rango de temperaturas dentro de la cámara de congelación.
- Estructura alámbrica con dimensiones aptas para colocar dentro de la cámara de congelamiento.
- Microcontrolador (PIC).
- Software para la requisición y análisis de datos.
- Se necesitara un banco de pruebas de tal modo que las placas del evaporador se puedan reacomodar para cada experimento.

A continuación se despliegan las ventajas y desventajas

Ventajas

- El equipo e instrumentación para realizar el registro de las distribuciones de temperaturas tiene un costo accesible (una inversión aproximada \$600.00).
- El procesamiento de la información se puede realizar a través de una interfaz que podría ser vía USB o alguna otra conexión a los puertos de las computadoras actuales de tal manera que la información obtenida en el PIC podrá analizarse con algún software disponible.
- Para llevara a cabo el experimento se puede hacer uso de equipo usado (compresor y algunas secciones de tubo de cobre) para reducir en la inversión total del experimento.

Desventajas

- Se necesita montar un banco de pruebas en que se pueda aislar las placas del evaporador del resto del sistema.

- En cada etapa del experimento es necesario desmontar las placas del evaporador para una nueva configuración lo cual resulta un poco complicado para volver a arrancar el sistema.

3.3 ELECCIÓN DE LA MEJOR PROPUESTA

Para poder elegir el experimento de una de las propuestas será necesario hacer una comparativa entre las ventajas y desventajas obtenidas en el análisis de cada una de las propuestas mencionadas, para esto también es necesario realizar una matriz de decisión que nos permita identificar de manera más analítica la propuesta más adecuada para llevar a cabo el experimento correspondiente.

Para crear la matriz de decisión se tomaron en cuenta tres criterios fundamentales del proyecto, en primera instancia se encuentra el costo, pues de esta depende en mayor parte si es posible llevar a cabo la experimentación, por otra parte es necesario contemplar la posibilidad y facilidad de manufacturar el banco de pruebas y por último y no por menos importante se encuentra la confiabilidad de los resultados obtenidos, este último criterio va más enfocado hacia la veracidad del experimento es por ello este criterio debe tener el mayor peso.

A continuación se muestra la matriz de decisión en base a una escala de evaluación del 1 al 5 para tratar de calificar cada criterio.

Criterio	Costo	Manufactura	Confiabilidad	Resultado
Peso	10%	30%	60%	
Propuesta 1	4	2	0	1
Propuesta 2	5	5	3	3.8
Propuesta 3	2	3	5	4.1

Tabla 7. Matriz de decisión para elección de la propuesta

*Nota: Esta escala está basada en una puntuación máxima con 5 y una puntuación mínima con 1

Como se puede observar de la matriz de decisión (tabla7), la propuesta 3 es la más apta para llevar a la experimentación debido a todas sus cualidades ya mencionadas además de que el tiempo de inversión necesario para armar, montar y obtener los resultados no debe

tomar más de 3 semanas, pues se trata de un experimento relativamente sencillo si se cuenta con la experiencia para manipular el material y equipo requeridos, por tanto será necesario hacer un estudio de mercado para investigar cuáles serán los requerimientos generales de cada uno de los dispositivos para fines del experimento.

3.4 ELECCIÓN DEL EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN

En el capítulo anterior se determinó que la propuesta tres resulto la más viable para llevarla a experimentación pero antes de comenzar era necesario realizar una investigación para determinar cuáles de los materiales y equipos disponibles previamente sugeridos para el experimento son los más adecuados para garantizar que los resultados obtenidos sean los más favorables y por tanto sean resultados confiables, para esto es indispensable definir cada una de las partes en que consiste el experimento.

El experimento consta de tres partes importantes:

1. La parte mecánica que comprende los procesos térmicos del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
2. La parte electrónica que se empleara para interpretar, convertir y enviar las señales resultantes del experimento hacia una computadora.
3. La parte analítica donde se registraran y se procesaran los datos obtenidos del experimento en una computadora por medio de algún software adecuado para poder analizar los resultados y así realizar las conclusiones correspondientes.

Estas tres partes del experimento deben estar definidas de tal modo que al momento de comenzar con la manufactura del banco de pruebas no sea necesario parar el proyecto por algún material o dispositivo que no cumpla con las especificaciones para poder realizar el experimento, es por eso la importancia de realizar el estudio principalmente de los componentes electrónicos y de software para determinar las limitaciones de los datos que se pueden recabar y analizar. Se dará así comienzo con la parte mecánica tratando de establecer el equipo necesario para armar el ciclo por compresión mecánica de vapor.

3.4.1 DETERMINACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO REQUERIDO PARA ARMAR EL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Una de las partes fundamentales de este proyecto se encuentra en el correcto armado de un ciclo de vapor empleado en los refrigeradores de uso doméstico. Por tanto será necesario establecer las características de cada uno de los componentes de tal sistema, este sistema está compuesto básicamente por los siguientes elementos:

- Compresor hermético recíprocante.
- Evaporador.
- Condensador.
- Tubo capilar (válvula de estrangulamiento).
- Filtro deshidratador.
- Protector térmico.
- Capacitor de arranque.

3.4.1.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR

En el primero de los casos es posible hacer la selección del compresor en base a las dimensiones y capacidades del espacio a refrigerar. En este caso se hizo la elección de un compresor pequeño uno cuya potencia nominal es de 1/6 de hp, esta elección se hizo en base a la disponibilidad de este equipo en el mercado además de que por otra parte al hacer uso de este compresor pequeño se evita el uso del capacitor de arranque por ser un motor con una relación de compresión baja y por tanto un par de arranque pequeño, aún más importante es que también de esta manera se reduce la cantidad de tubería empleada en el evaporador y en el condensador ya que existe una relación directa entre la potencia del motor y la extracción de la carga térmica de tal modo que el área de transferencia de calor se ve también afectada al cambiar estas condiciones. Algunas de las características del compresor se encuentran a continuación:

Potencia: 125 [watts] \approx 1/6 [hp]

Corte en corriente: 25.09 [A]

Material conector en descarga: Acero tratado con cobre

Desplazamiento: 3.14 [cm³/rev]

Aplicación: Baja presión de retorno/ Media presión de retorno/ Alta presión de retorno

Amperios rotor bloqueado: 25 [A]

Temperatura máxima de bobinado a corto plazo: 135[°C]

Temperatura máxima de bobinado estacionario: 125[°C]

Número de fases: 1

Cantidad de aceite: 150 [cm³]

Material conector carga: Acero tratado con cobre

Refrigerante primario: R134a

Carga máxima de refrigerante: 0.9 [kg]

Resistencia bobinado auxiliar: 8.3 [Ohm]

Resistencia bobinado principal: 2.24 [Ohm]

Material conector de aspiración: Acero tratado con cobre

Tensión nominal: 115[V]

Frecuencia: 60 [Hz]

Peso del compresor: 3.2 [kg]

Rpm a su máxima potencia: 1075 [rpm]

A partir de estos datos es posible determinar la capacidad teórica refrigerante del compresor ya que no se cuentan con datos adicionales para poder calcular la capacidad refrigerante real, de tal modo que la expresión para calcular tal capacidad se muestra en la ecuación 3.3.1.

$$Q_e = \dot{m} \Delta h [Ton_{ref}] \quad \text{ec.3.3.1}$$

Donde:

$$\dot{m} = V_p \rho \left[\frac{kg}{s} \right] : \text{Cantidad del gasto másico}$$

$\Delta h = h_g - h_f$: Diferencia de la entalpia del fluido a la entrada del compresor con la entalpia del fluido a la salida del condensador

Con los datos técnicos del compresor brindados por el fabricante es posible determinar su capacidad de refrigeración, por lo que sustituyendo los datos correspondientes se tiene lo siguiente:

$$V_p = 3.14 \left[\frac{cm^3}{rev} \right] \times 1075 [rpm]$$

$$V_p = 3375.5 \left[\frac{cm^3}{min} \right] = 5.62 \times 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Para determinar el gasto másico de refrigerante que circula por el sistema se establecerá una temperatura de $-2\text{ [}^\circ\text{C]}$ dentro del evaporador ya que esta es la temperatura promedio que alcanza un refrigerador doméstico, de esta manera será posible determinar la densidad de esta sustancia mediante tablas termodinámicas para el refrigerante R-134a.

$$\rho_g @ 0^\circ\text{C} = 13.45 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\dot{m} = 13.45 \times 5.62 \times 10^{-5} = 7.56 \times 10^{-4} \text{ [kg/s]}$$

Los valores de la entalpia a $-2\text{ [}^\circ\text{C]}$ y a $38\text{ [}^\circ\text{C]}$ cuya temperatura corresponde a la salida del evaporador y a la entrada de la válvula de expansión son los siguientes:

$$h_g @ -2\text{ [}^\circ\text{C]} = 398.6 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_f @ 38\text{ [}^\circ\text{C]} = 253.4 \text{ [kJ/kg]}$$

Por lo tanto, la capacidad de refrigeración para este compresor es de:

$$Q_e = (7.56 \times 10^{-4})(398.6 - 253.4) = 0.109 \text{ [kW]}$$

$$Q_e = 374.5 \text{ [Btu/h]} = 0.0312 \text{ [Ton ref]}$$

*Nota: Los cálculos se realizaron con unidades del Sistema Ingles ya que en la mayoría de los documentos se encuentran en este sistema de unidades.

Este compresor cumple con las características para implementarlo en el experimento, a pesar de que se puede emplear un compresor de mayor potencia se optó por uno de estas características para obtener un banco de pruebas practico para realizar los cambios y modificaciones necesarias sin mayor dificultad.

3.4.1.2 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL Y DIMENSIONES EN EL EVAPORADOR

En este caso no se hará una selección de este equipo de acuerdo a los modelos prefabricados que existen en el mercado, ya que la mayoría de ellos tienen una forma predefinida para casos específicos y por tanto esto no permite el cambio en la orientación de las tres placas que conforman al evaporador, en este caso se optara por hacer uso de tubo de cobre flexible debido a las características que este presenta para transferir calor, por su disponibilidad en el mercado y por su facilidad para darle la forma final deseada,

aunque que existen otros materiales con mejores características para conducir el calor, no se cuenta con muchas opciones en el mercado. Por otro parte será necesario realizar los cálculos correspondientes para obtener el área de transferencia de la carga térmica en función de las capacidades del compresor, esto facilitará el cálculo de la longitud total del evaporador si se toma en cuenta que para este caso se empleara tubo de cobre con un diámetro de ½ pulgada.

A partir de este resultado es posible determinar el la superficie requerida para retirar esta carga de calor en el evaporador, para esto será necesario apoyarse de la ecuación 3.3.2:

$$Q_{t\acute{e}rmica} = A U D \text{ [Btu/h]} \quad \text{ec. 3.3.2}$$

$$Q_{t\acute{e}rmica} = Q_{producto} + Q_{paredes} \text{ [Btu/h]} \quad \text{ec. 3.3.3}$$

Donde:

Q: Carga térmica [Btu/h, Ton/h].

A: Área de transferencia de calor [ft², m²].

D: Diferencia media logarítmica de temperaturas [°F, °C].

U: Factor de conductancia [Btu/h ft² °F].

Q_{producto}: carga térmica del producto [Btu/h, Ton/h].

Q_{paredes}: carga térmica en las paredes del congelador [Btu/h, Ton/h].

La carga por producto se calculó en base a los productos que comúnmente se colocan en el congelador (carga del producto), en base al tamaño del compartimento y de acuerdo con la ganancia térmica en las paredes del mismo compartimento, los alimentos y bebidas que se consideraron se muestran a continuación en la tabla 8.

Producto	Masa [lb]	Calor especifico [Btu/lb °F]	ΔT [°F]	Q [Btu]
Agua	2.2	1	57.6	126.98
Papas	2.2	0.86	57.6	109.2
carne de res	2.2	0.5	57.6	95.24
Pescado	2.2	0.76	57.6	96.5
Cerdo	2.2	0.68	57.6	86.35
Pollo	2.2	0.79	57.6	100.32
Cerveza	2.2	1	57.6	126.98
Helado	2.2	0.77	57.6	97.78
TOTAL				839.35

Tabla 8. Carga térmica de los alimentos

Ref. Dossat “Principios de refrigeración”

La consideración de diferencia de temperaturas se realizó con respecto a la temperatura del medio ambiente (89.6°F) y a la temperatura de congelamiento del agua (32°F), pues la mayor parte de los alimentos tienen una gran cantidad de moléculas de agua. La carga térmica del producto debe ser multiplicada por un factor de compensación por la desigualdad de distribución de carga de enfriamiento de tal manera que la expresión resultante queda de la siguiente manera:

$$Q_{\text{producto}} = \frac{\text{carga del producto} \times 24}{\text{tiempo deseado de enfriamiento}} = \frac{(839.35[\text{Btu}])(24)}{4[\text{h}]} = 5036.1[\text{Btu}/\text{h}]$$

El tiempo de 4 horas es un estimado de congelamiento según el libro de Dossat, además de que los compresores no pueden operar por un periodo muy prolongado. La ganancia térmica en las paredes del compartimento del congelador se determinó mediante la ecuación 3.3.4:

$$Q_{\text{paredes}} = A U D [\text{Btu}/\text{h}] \quad \text{ec. 3.3.4}$$

Las dimensiones del compartimento del congelador son de 0.4 x 0.4 x 0.4[m], por lo tanto $A = 0.96 [\text{m}^2] = 10.33 [\text{ft}^2]$. El coeficiente global de transferencia de calor en las paredes se calculó en base a las propiedades de conducción de calor de los materiales con los que se realizó el compartimento, la ecuación 3.3.5 utilizada para este cálculo se muestra a continuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_{\text{aire}}} + \frac{x_u}{k_{\text{unicel}}} + \frac{x_a}{k_{\text{acero}}} + \frac{1}{f_{\text{aire}}} \left[h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{Btu} \right] \quad \text{ec. 3.3.5}$$

Donde:

f_{aire} : Coeficiente de convección del aire = 1.65 [Btu/h ft² °F]

k_{unicel} : Coeficiente de conductividad térmica = 0.2 [Btu in/h ft² °F]

k_{acero} : Coeficiente de conductividad térmica = 58 [Btu in/h ft² °F]

X_u : Espesor de la placa de unigel = 1 [in]

X_a : Espesor de la placa de acero = 0.0306 [in]

Sustituyendo los valores se obtuvo el siguiente resultado:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1.65} + \frac{1}{0.2} + \frac{0,0306}{58} + \frac{1}{1.65} = 6,21 \left[h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{Btu} \right]$$

$$U = 0.1609 [\text{Btu}/\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}]$$

La diferencia de temperaturas fue considerada de la misma manera que en el caso de la carga del producto con un valor de 57.6 °F, por lo tanto el valor de la ganancia térmica en las paredes se obtuvo al sustituir todos los valores antes obtenidos en la ecuación 3.3.4 se muestra a continuación:

$$Q_{paredes} = (10.33)(0.1609)(57.6) = 95.73 \text{ [Btu/h]}$$

La carga térmica total se obtuvo con la suma de carga del producto y la carga de paredes.

$$Q_{térmica} = 95.73 + 5036.1 = 5131.83 \text{ [Btu/h]}$$

Al despejar el área de la ecuación 3.3.2 la expresión queda de la siguiente manera:

$$A_{evaporador} = \frac{Q_{total}}{UD} \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{ec. 3.3.6}$$

Donde:

U: conductividad térmica del cobre= 385.2 [Btu/h ft² °F]

Y la diferencia media logarítmica de temperaturas se encuentra con la ecuación 3.3.7:

$$D = [(T_e - T_r) + (T_L - T_{r2})] / [\ln((T_e - T_r) \div (T_L - T_{r2}))] \text{ [}^\circ\text{F]} \quad \text{ec. 3.3.7}$$

Dónde:

T_e: Temperatura del aire que llega al serpentín = 89.6 [°F]= 32[°C]

T_r: Temperatura del refrigerante al entrar al serpentín = 28.4 [°F]=-2 [°C]

T_{r2}: Temperatura del refrigerante al salir del serpentín = 28.4 [°F]=-2[°C]

T_L: temperatura del aire al final del serpentín = 32 [°F]= 0[°C]

Al sustituir los valores en la ecuación 3.3.7 se obtiene el siguiente resultado:

$$D = [(89.6-28.4)+(32-28.4)] / [\ln((89.6-28.4)/(32-28.4))] = 22.87 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

Finalmente al sustituir los valores obtenidos anteriormente en la ecuación 3.3.5 se obtiene el siguiente resultado:

$$A_{evaporador} = \frac{5131.83}{(22.87)(385.2)} = 0.5825 \text{ [ft}^2\text{]} = 0.0541 \text{ [m}^2\text{]}$$

Anteriormente se estableció el diámetro de la tubería con un valor de $\frac{1}{2}$ [pul]= 0.0127 [m] con lo que es posible determinar la longitud del tubo del evaporador en base a este valor con ayuda de la ecuación 3.3.8.

$$L_{tubo} = \frac{A_{evaporador}}{Perimetro} \text{ [m]} \quad \text{ec. 3.3.8}$$

donde el perímetro se encuentra mediante la ecuación 3.3.9.

$$P = \pi d \text{ [m]} \quad \text{ec. 3.3.9}$$

Sustituyendo los valores correspondientes se tiene:

$$P = (\pi)(0.0127) = 0.03989 \text{ [m]}$$

y finalmente al sustituir los valores en la ecuación 3.3.8 se obtiene la longitud del tubo.

$$L_{tubo} = 0.0541/0.03989 = 1.35 \text{ [m]}$$

Esta será la longitud de la tubería empleada para armar las placas del evaporador.

3.4.1.3 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL Y DIMENSIONES EN EL CONDENSADOR

El condensador es también una parte importante del sistema y por tanto el cálculo de este equipo debe ser también de mucho cuidado al momento de determinar sus dimensiones, un sobredimensionamiento podría dar origen a un posible aumento en la eficiencia del ciclo lo cual no es para nada una desventaja pero en algunos casos suele incrementar los costos del producto final, para fines prácticos de este experimento será necesario limitarse a el área mínima de transferencia de calor requerida para retirar la carga de calor limitada por el evaporador y por el compresor.

Para realizar este cálculo será necesario apoyarse de la ecuación 3.3.10 que se muestra a continuación.

$$Q_c = A U D \text{ [Btu/h]} \quad \text{ec. 3.3.10}$$

Donde:

Q_c : Carga térmica corregida [Btu/h,W]

A: Área del condensador [ft^2, m^2]

D: Diferencia de temperatura media logarítmica [$^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{F}$]

U: Factor de conductancia [Btu/h $\text{ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$]

Para encontrar el valor de la carga térmica corregida es necesario apoyarse de un factor de rechazo que se puede encontrar de una tabla que se ofrece en el libro Dossat “Principios de refrigeración”, en donde se obtiene un factor de rechazo de 1.252 para las características del compresor, por lo tanto la carga térmica corregida se obtiene con la ecuación 3.3.11.

$$Q_c = Q_e * f \text{ [Btu/h]} \quad \text{ec. 3.3.11}$$

Al sustituir el valor del factor de rechazo en la ecuación 3.3.11 se obtiene el siguiente valor:

$$Q_c = (374.5)(1.252) = 468.874 \text{ [Btu/h]}$$

El valor de la diferencia de temperatura media logarítmica se encuentra mediante la ecuación 3.3.11 que se muestra a continuación:

$$D = [(T_e - T_r) + (T_L - T_{r2})] / 2 \text{ } [^{\circ}\text{F}] \quad \text{ec. 3.3.11}$$

Donde:

T_e : Temperatura del aire que llega al serpentín = 89.6 [$^{\circ}\text{F}$] = 32 [$^{\circ}\text{C}$]

T_r : Temperatura del refrigerante al entrar al serpentín = 140 [$^{\circ}\text{F}$] = 60 [$^{\circ}\text{C}$]

T_{r2} : Temperatura del refrigerante al salir del serpentín = 131 [$^{\circ}\text{F}$] = 55 [$^{\circ}\text{C}$]

T_L : temperatura del aire al final del serpentín = 89.6 [$^{\circ}\text{F}$] = 32 [$^{\circ}\text{C}$]

Al sustituir todos los valores en la ecuación 3.3.11 se obtiene el siguiente resultado:

$$D = [(89.6 - 140) + (89.6 - 55)] / 2 = 45.9 \text{ } [^{\circ}\text{F}]$$

El coeficiente de conductancia del cobre es de $U = 385.2$ [Btu/h ft² °F]

Al despejar el área de la ecuación 3.3.10 se obtiene la siguiente la ecuación 3.3.12.

$$A_{evaporador} = \frac{Q_C}{UD} [\text{m}^2] \quad \text{ec. 3.3.12}$$

El resultado que se obtiene al sustituir los valores obtenidos en la ecuación 3.3.12 se muestra a continuación.

$$A_{condensador} = \frac{468.874}{(385.2)(45.9)} = 0.0265 [\text{ft}^2] = 0.0246 [\text{m}^2]$$

Al determinar la longitud de la tubería del condensador a partir de un diámetro de $\frac{1}{2}$ [in] equivalente a 0.0127 [m] se sustituye en la ecuación 3.3.13.

$$L_{tubo} = \frac{A_{condensador}}{\text{Perimetro}} + L_{evaporador} [\text{m}] \quad \text{ec. 3.3.13}$$

Donde el perímetro se encuentra mediante la ecuación 3.3.14.

$$P = \pi d [\text{m}] \quad \text{ec. 3.3.14}$$

Sustituyendo los valores correspondientes se tiene:

$$P = (\pi)(0.0127) = 0.03989 [\text{m}]$$

y finalmente al sustituir los valores en la ecuación 3.3.13 se obtiene la longitud del tubo.

$$L_{tubo} = (0.0265/0.03989) + 1.35 = 1.96 [\text{m}]$$

Esta será la longitud de la tubería mínima necesaria en el condensador.

Los equipos restantes como lo son el filtro deshidratador y el protector térmico se eligieron en base a las características del equipo previamente seleccionado y en base a lo disponible en el mercado mientras que para el caso del capacitor de arranque no fue indispensable adquirirlo debido a las características del compresor previamente mencionadas.

3.4.2 DETERMINACIÓN DEL EQUIPO ELECTRÓNICO PARA EL REGISTRO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS

La parte electrónica del proyecto es de gran importancia pues los resultados que se obtengan de las pruebas dependen directamente de la capacidad que dispongan cada uno de los dispositivos que conforman el circuito completo que se empleará para registrar las temperaturas en los diferentes puntos dentro del congelador, por esta razón es necesario establecer cuáles serán los dispositivos electrónicos aptos para esta función. Para lograr armar el circuito se hará uso básicamente de los siguientes dispositivos:

- Sensores.
- Microcontrolador (PIC).
- Cable de comunicación de tarjeta a computadora.
- Fuente de alimentación.
- Cristal de cuarzo.

El armado del circuito electrónico requiere de los conocimientos para programar y conectar el PIC requerido en el circuito, para esta parte del proyecto fue necesaria la orientación de un colega especializado en el área de la mecatrónica que pudiera dar las recomendaciones y las instrucciones necesarias para lograr armar el circuito con todos sus componentes, entre ellos se encuentran los sensores de temperatura y de acuerdo a las recomendaciones obtenidas se optó por sensores LM35 ya que debido a sus características es ideal para fines del proyecto.

Las características del sensor LM35 son las siguientes:

- Calibrado directamente en grados Celsius (Centígrados).
- Factor de escala lineal de +10 mV / °C.
- 0.5°C de precisión a +25 °C.
- Rango de trabajo: -55 °C a +150 °C.
- Bajo costo.
- Funciona con alimentaciones entre 4V y 30V.
- Menos de 60 μ A de consumo.
- Bajo auto-calentamiento (0.08 °C en aire estático).
- Baja impedancia de salida, 0.1W para cargas de 1mA.

Para el caso del PIC se opto por el modelo 16F887 que de acuerdo a las recomendaciones, este cuenta con la características necesarias para su proposito, algunas de sus características se muestran a continuacion:

- Frecuencia de operación 0-20 MHz.
- Rango de frecuencia de 8MHz a 31KHz seleccionado por software.
- Voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V.
- Consumo: 220uA (2.0V, 4MHz), 11uA (2.0 V, 32 KHz).
- Brown-out Reset (BOR) con opción para controlar por software.
- Memoria ROM de 8K con tecnología FLASH.
- 256 bytes de memoria EEPROM.
- 368 bytes de memoria RAM.
- 14 canales.
- Referencia de voltaje fija (0.6V).
- Soporta las comunicaciones seriales RS-485, RS-232 y LIN2.0.

Una vez que se establecieron las características del PIC, se eligieron los dispositivos restantes en base a tales características, ese fue el caso del cable para la comunicación serial RS-232 el cual resulta muy sencillo de adaptar a un cable USB, así de una forma similar se eligió el cristal de cuarzo a 20MHz.

3.5 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Una vez analizados cada uno de los equipos requeridos es posible comenzar con el ensamble de las piezas que conforman cada sistema, para dar comienzo con el armado del banco de pruebas es necesario comenzar con el ensamble de todos los componentes del ciclo de refrigeración incluyendo la cámara que simula la zona del congelador, posterior a esto es necesario armar la celda que se empleara para colocar los sensores y finalmente se procederá a armar el circuito electrónico que procesara las señales provenientes de cada sensor para transferir finalmente al puerto USB de una computadora donde se realizaran los análisis correspondientes.

3.5.1 ARMADO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN

El armado del sistema de refrigeración resulta relativamente sencillo si se cuenta con el apoyo del personal capacitado para soldar y manufacturar las piezas requeridas, además de los componentes básicos del sistema anteriormente mencionados se requiere del uso de herramientas y materiales auxiliares para el correcto armado de todo el sistema, este equipo y material es el siguiente:

- Bomba de vacío.
- Gas refrigerante R134a.
- Juego de manómetros y válvulas para llenado con refrigerante.
- Doblador de tubo ½ pulgada.
- Cortador de tubo ½ pulgada.
- Soldadura de plata y soldadura fosco.
- Equipo para soldar.
- Lamina de acero de calibre 22
- Placas de poliestireno extendido (Unicel)



Figura 23. Algunos de los materiales y equipos requeridos para el armado del sistema

En el caso de la bomba de vacío fue posible sustituirla haciendo empleo de un compresor de mayor capacidad con el que se contaba en ese momento mientras que para el resto de los materiales y equipo se lograron conseguir sin mayor dificultad pues su disponibilidad en el mercado es muy variada.

El proceso de construcción del evaporador y del condensador se realizó de acuerdo a los valores calculados en los capítulos 3.3.1.2 y 3.3.1.3 respectivamente, de tal manera que la longitud total de estos intercambiadores de calor se ajustaron al espacio dónde serian colocados. A continuación se muestra la secuencia del armado de las palcas del evaporador y condensador así como el ensamble con el resto de los componentes.

- Corte y dobles de los tubos de cobre.



Figura 24. Proceso de corte y doblado de la tubería de cobre para ensamblar las pacas del evaporador y condensador

- Soldado de las placas del evaporador.

En este caso se empleó el equipo de soldadura oxiacetilénica disponible en el laboratorio de manufactura de la Facultad de Ingeniería.

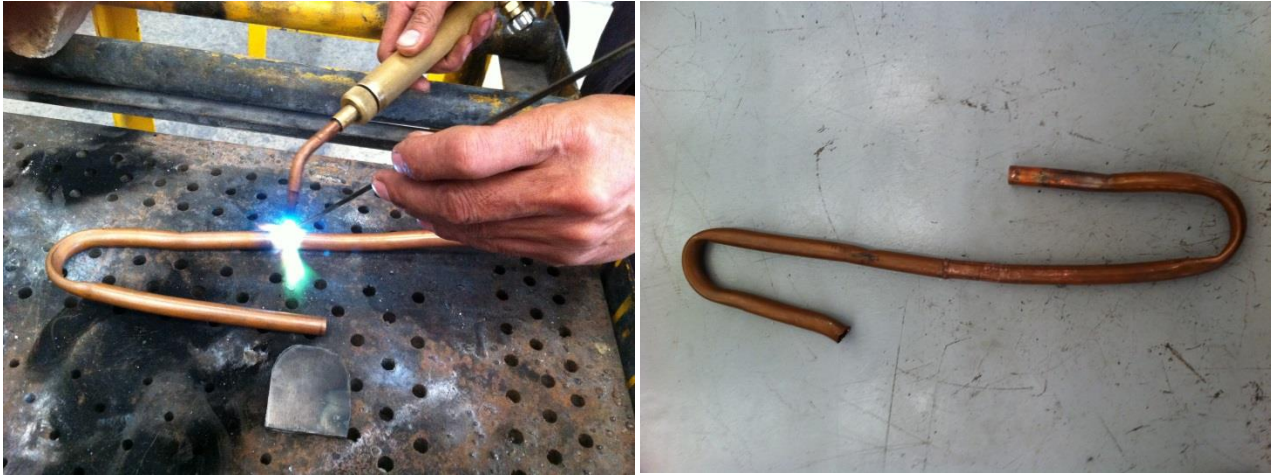


Figura 25. Proceso de soldadura para ensamblar las placas del condensador y del evaporador

- Ensamble de todo el ciclo de refrigeración



Figura 26. Sistema de refrigeración armado

Una vez ensamblado el sistema se empleó el compresor de mayor potencia para realizar el vacío y así verificar que no existían fugas en algún punto de contacto entre las piezas y componentes de todo el sistema, esto se logró verificar dejando conectado el manómetro de baja presión por un periodo de 3 horas en el cual siempre se registró una presión de -1

[Bar], posteriormente llevó a cabo el llenado del sistema con el gas refrigerante R134a de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y de los expertos en el tema, la figura 27 muestra la manera en que se realizó tal proceso.



Figura 27. Llenado de refrigerante al sistema

Para concluir este procedimiento de llenado de gas refrigerante fue necesario verificar que la carga de gas fuera la correcta, pues un exceso en la carga puede causar un trabajo forzado en el compresor originando una mayor demanda de corriente eléctrica dando como resultado también una disminución en el efecto de refrigeración, es por esto que el llenado de refrigerante debe realizarse con mucho cuidado y para esto es necesario apoyarse de herramientas como los son un amperímetro, un manómetro y un termómetro, con ayuda de estas herramientas se puede monitorear el desempeño del compresor en función de la presión dentro del sistema y la demanda de corriente para que esta no exceda los límites que establece el fabricante.

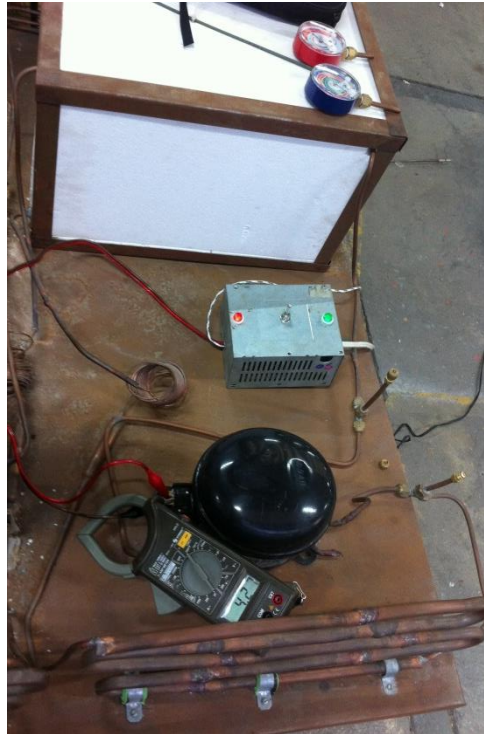


Figura 28. Verificación de carga correcta del refrigerante al sistema

Ahora que se ha verificado que el sistema opera satisfactoriamente bajo un estado estacionario es posible comenzar a armar la siguiente parte del banco de pruebas.

3.5.2 ARMADO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

Un punto muy importante de resaltar es que para lograr la conexión de todos los componentes se empleó la tarjeta de desarrollo diseñada y manufacturada por el Ingeniero Ulises Peñuelas quien diseño dicha tarjeta con fines didácticos y que en esta ocasión fue de gran ayuda para facilitar el armado del circuito final

Otro punto a mencionar es que para realizar el censado se necesitó armar una celda o malla que permitió colocar cada uno de los 14 sensores que permite conectar el PIC17F887, para esto fue necesario armar tal estructura con alambre de cobre de calibre 7 con las dimensiones de 40x40x40 [cm] las cuales son suficientes para colocar dentro de la cámara que contiene a las placas del evaporador como se muestra en la figura 29.

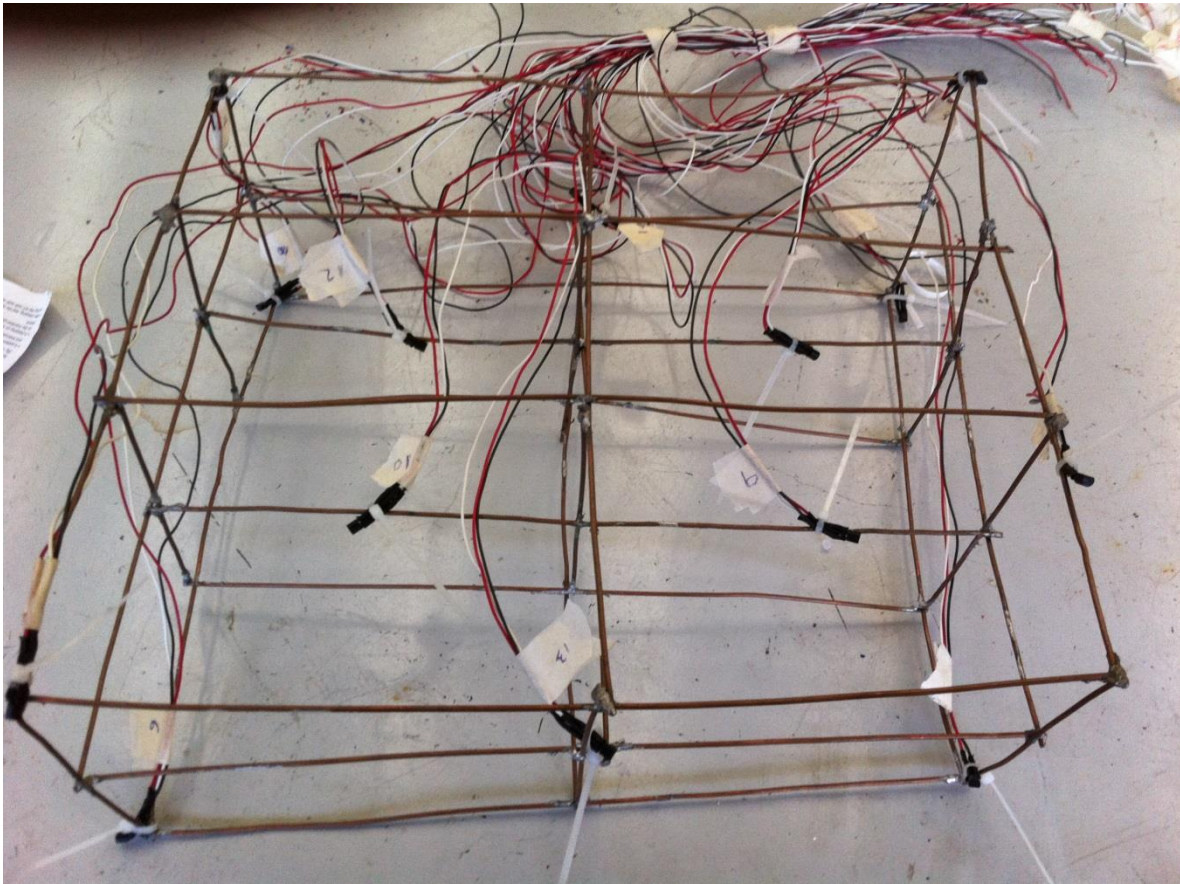


Figura 29. Sensores colocados dentro de una celda de alambre de cobre

El diagrama eléctrico del circuito resultante se muestra que en la figura 30 se simuló con ayuda del programa PROTEUS, en donde se comprobó que efectivamente el circuito cumpliera con las especificaciones y objetivos del proyecto, dando resultados positivos de esta manera se dio paso a grabar el chip por medio una tarjeta de desarrollo para el PIC16F887, por medio del programa *Tiny Bootloader*, se programó con el archivo generado por el compilador en extensión *.hex.

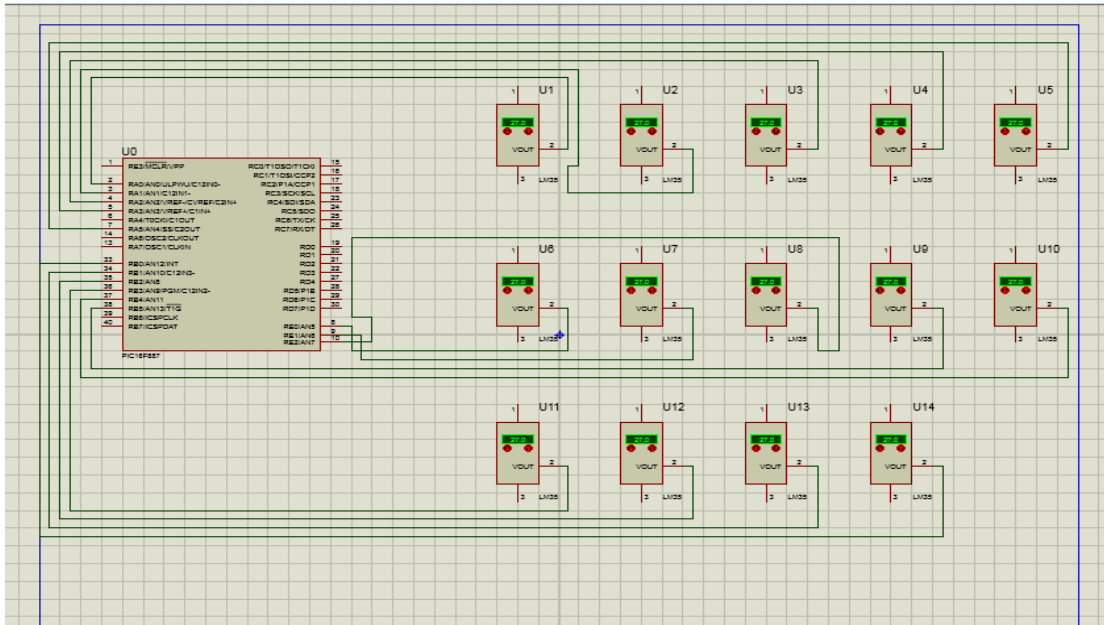


Figura 30. Circuito electrónico simulado en PROTEUS

Finalmente se llegó a la implementación del circuito físico, donde se realizó el armado del circuito tratando de verificar que todo se lleve a cabo de acuerdo a lo que se programó y simuló anteriormente.

3.5.3 SOFTWARE EMPLEADO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

El software disponible para la adquisición de datos procesados en el PIC a partir de las señales enviadas por los sensores, es el mismo software que se empleó para programar el PIC ya que este software contiene una paquetería que permite recibir los datos provenientes del mismo PIC, lo cual resulta bastante ventajoso ya que no se requiere diseñar un programa extra para esta tarea. Para analizar los datos adquiridos en cada prueba solo basta con emplear una hoja de cálculo que permita ordenar, analizar e interpretar gráficamente los resultados, esta herramienta está disponible en cualquier ordenador por lo que no hay mayor complicación.

3.5.4 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE FINAL DEL BANCO DE PRUEBAS

Es preciso asegurarse que todos los componentes que conforman al banco de pruebas operen sin mayor complicación pues de ello dependerá que los resultados obtenidos en cada prueba sean de un buen grado de confiabilidad, para ello es necesario que el sistema de refrigeración se mantenga operando por un largo lapso de tiempo para asegurar que las condiciones del sistema se mantengan estables, en el caso del equipo electrónico es necesario realizar varias pruebas para asegurar que los datos obtenidos en cada una de las pruebas bajo las mismas condiciones no sean tan diferentes unas de otras, de esta manera es posible dar comienzo a cada una de las etapas del experimento.

De acuerdo a lo comentado anteriormente se puso en marcha el ciclo de refrigeración por un lapso de 2 horas para asegurarse que el sistema operara bajo un régimen permanente, se colocó la celda con los sensores y el compartimiento del congelador se aisló térmicamente con una tapa de unicel de 2.5 cm de espesor con lo que dio comienzo a una serie de pruebas antes de dar comienzo a las pruebas definitivas, la figura 31 muestra la forma final del banco de pruebas.

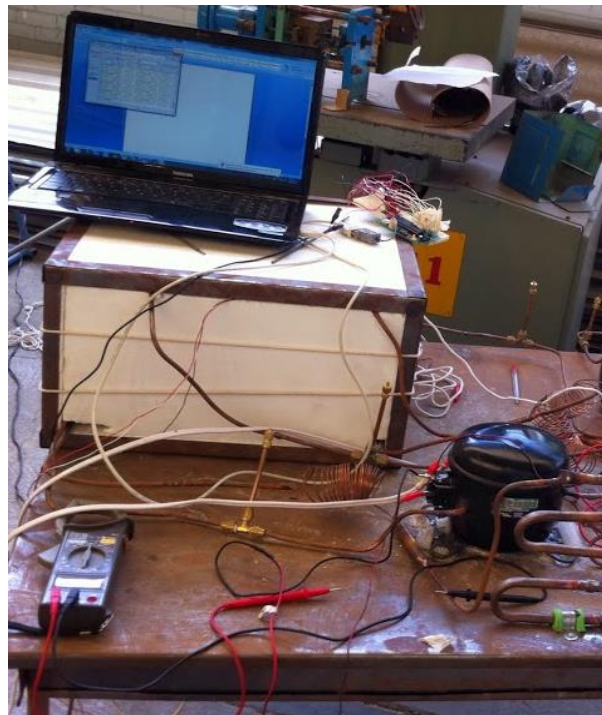


Figura 31. Banco de pruebas montado

3.5.5 PRUEBAS REALIZADAS DURANTE EL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló en tres etapas las cuales consistieron de la siguiente manera:

- Primera etapa: Experimento realizado con las placas del evaporador como se encuentran de forma usual en los refrigeradores domésticos (Figura 32).

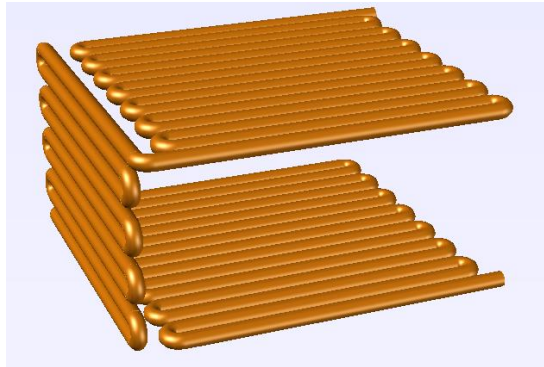


Figura 31. Arreglo usual del evaporador en los refrigeradores

Esta prueba se realizó bajo las condiciones en las que se encuentran colocadas las placas de un refrigerador común de forma tradicional con el objeto de registrar cómo se comporta la distribución de temperaturas de esta manera, en la figura 33 se muestra como se llevó a cabo esta prueba que consistió básicamente en colocar la celda con los sensores de la manera más centrada posible y cerrar la parte frontal con la tapa de unicel, una vez que se verificó que todo estaba correctamente conectado se procedió a encender el sistema de refrigeración y a comenzar con el registro de las lecturas recibidas desde los sensores LM35 hasta la pantalla del software Tiny Bootloader, se continuó de esta manera hasta que se registraran las primeras lecturas que indicaban los 0° Celcius, pues a pesar de que se podía llegar a una temperatura menor se necesitaba de una referencia para comparar con los resultados de los demás arreglos.

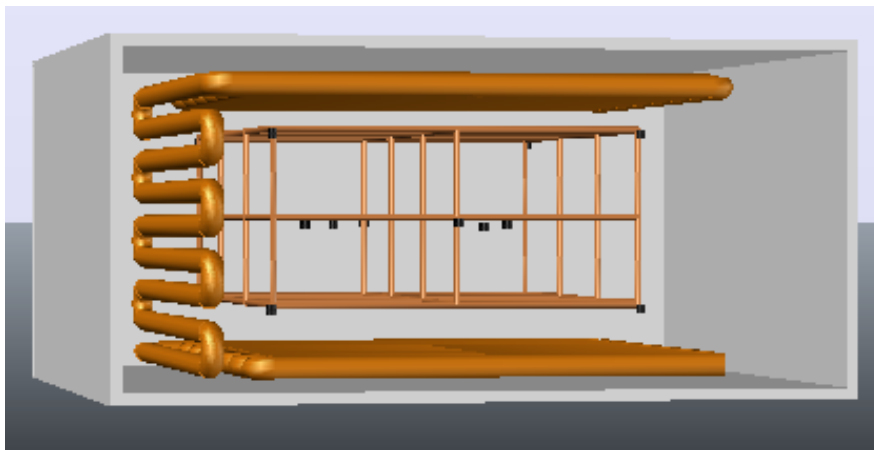


Figura 33. Prueba de cenado de temperaturas con la configuración usual de las placas del evaporador

- Segunda etapa: Experimento realizado con el arreglo alternativo A (figura 34)

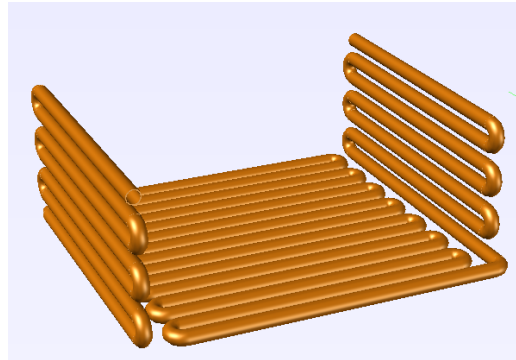


Figura 34. Arreglo alternativo A en las placas del evaporador

En esta prueba fue necesario comenzar desde las condiciones iniciales del primer experimento, es decir que fue necesario apagar el sistema y esperar que la temperatura dentro del compartimento fuera igual a la inicial de la primera parte del experimento (28 °C), fue así como entonces se comenzó con el arranque del sistema y se repitió el mismo proceso que en la etapa anterior, en la figura 35 se muestra la manera en que se realizó esta parte del experimento.

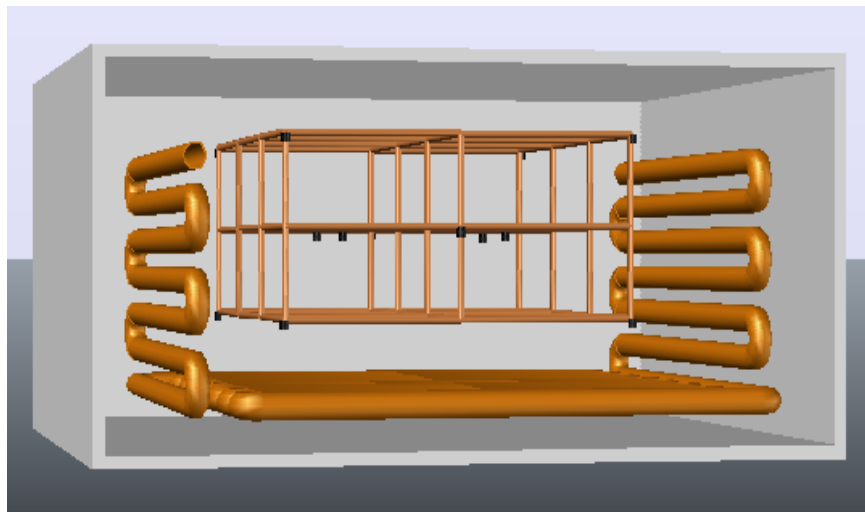


Figura 35. Prueba de censado de temperaturas con la configuración alternativa A

- Tercera etapa: Experimento realizado con el arreglo alternativo B (figura 36)

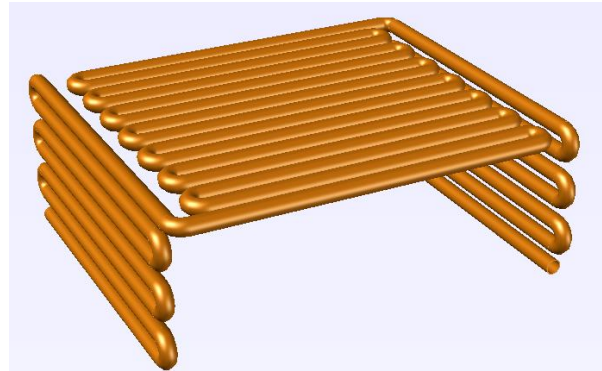


Figura 36. Arreglo alternativo B

Finalmente se realizó esta última etapa del experimento realizado bajo las condiciones del arreglo alternativo B, en donde se repitió la misma maniobra que se llevó a cabo en la segunda parte del experimento, con el fin de controlar las variables que pudieran afectar los resultados la figura 37 muestra la última etapa del experimento.

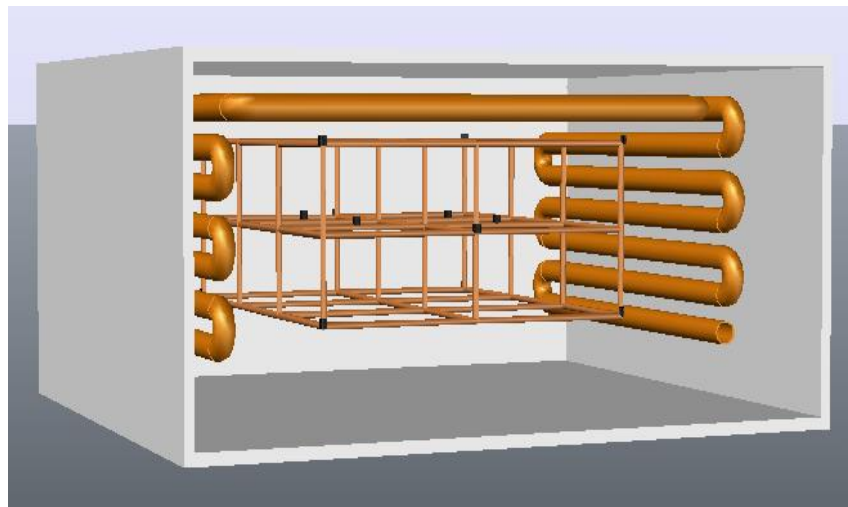


Figura 37. Prueba de censado de temperaturas con la configuración alternativa B

CAPITULO 4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRIMERA ETAPA DEL EXPERIMENTO

Los resultados obtenidos en cada prueba fueron capturados desde la interface del programa *Tiny Bootloader* para posteriormente ser ordenados y almacenados en un procesador de texto el cual permitió que estos datos se pasaran con el mayor orden y cuidado hasta la hoja de cálculo de Excel donde se comenzó el procesamiento de la información para darle así el análisis y la interpretación correspondiente, a continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las pruebas.

Los resultados de la primera etapa del experimento se encuentran en la tabla 9, cabe señalar que el registro de las temperaturas se realizó cada 2 segundos por lo que al final se pudo determinar el tiempo que tomo al proceso alcanzar los 0 [°C] en el compartimento del congelador.

REGISTROS	TEMPERATURA REGISTRADA EN LOS SENSORES [°C]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	28	28	28	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28	28
2	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28
3	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	28
4	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27	27	28
5	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	28
6	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	28
7	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	28
8	23	23	23	23	23	23	23	23	27	27	27	27	27	28
9	24	24	24	24	24	24	24	24	26	27	26	27	26	28
10	23	23	23	23	23	23	23	23	26	27	26	27	26	27
11	23	23	23	23	23	23	23	23	26	26	26	26	26	27

.
.

.

.

.

310	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	0	1	0	1
311	1	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
312	1	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
313	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	1	0	1	0	1
314	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
315	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
316	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
317	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1

318	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
319	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
320	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
321	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
322	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
323	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	1	0	1
324	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	1	0	1
325	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	1	0	1

Tabla 9 Resultados obtenidos con el arreglo tradicional

*Los resultados completos se muestran en el anexo A

Como se puede observar, en el registro número 314 se nota que la mayoría de los sensores registró una temperatura de 0 [°C] manteniéndose así alrededor de unos 15 segundos y enseguida comienza a descender aún más la temperatura, de tal manera que el tiempo requerido para alcanzar este registro de temperatura en la mayor parte del compartimento del congelador se determinó con la siguiente expresión:

$$tiempo\ total = \frac{314 \times 2 [s]}{60} = 10.46 [min]$$

A partir de estos resultados también fue posible dibujar la gráfica en donde se incluyen cada uno de los sensores con sus respectivos valores de temperatura en función del tiempo, la gráfica de la figura 38 correspondiente a los resultados de esta primera parte del experimento se muestra a continuación.

Gráfica Tiempo -Temperatura para cada sensor

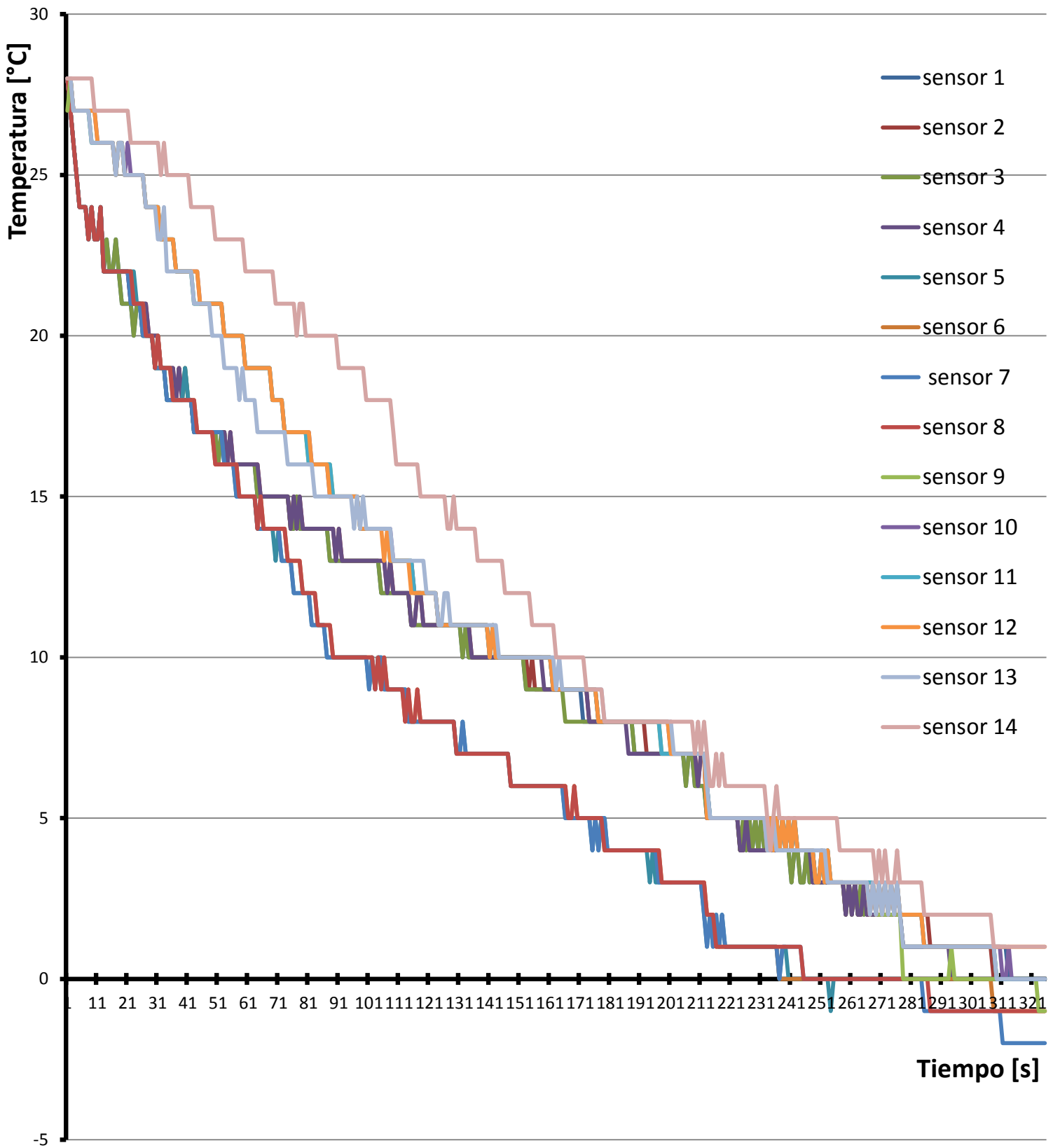


Figura 38. Gráfica Tiempo-Temperatura de los resultados obtenidos con el arreglo tradicional

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SEGUNDA ETAPA DEL EXPERIMENTO

Los resultados obtenidos a partir de la segunda etapa del experimento con el arreglo alternativo A se muestran a continuación en la tabla 10.

REGISTROS	TEMPERATURA REGISTRADA EN LOS SENSORES [°C]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	27	27	27	27	28	28	28	28	27	28	27	28	28	28
2	27	27	27	27	27	28	27	27	27	28	27	28	27	28
3	27	27	27	27	27	27	27	26	27	28	27	28	27	28
4	26	27	27	26	27	27	27	25	27	27	27	27	27	28
5	27	27	27	27	27	27	27	24	27	27	27	27	27	28
6	26	26	26	26	26	27	26	24	27	27	27	27	27	28
7	26	26	26	26	26	26	26	24	26	27	26	27	27	28
8	26	26	26	26	26	26	26	23	26	27	26	27	27	28
9	26	26	26	26	26	26	26	24	26	27	26	27	26	28
10	26	26	26	25	26	26	26	23	26	27	26	27	26	27
11	25	25	25	25	25	25	25	23	26	26	26	26	26	27

.
. .
. .
. .

362	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	1	0	0	0	1
363	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	1	0	0	0	1
364	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	1	0	0	0	1
365	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
366	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
367	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
368	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
369	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
370	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	0	0	0	-1	0
371	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-1	0	0	0	-1	0
372	0	0	0	-1	0	-1	-2	-2	-1	0	0	0	-1	0
373	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-1	0	-1	0	-1	0
374	0	0	0	-1	0	-1	-2	-2	-1	0	-1	0	-1	0

Tabla 10. Resultados obtenidos con el arreglo alternativo A

*Los resultados completos se muestran en el anexo B

A partir del registro número 365 se registró 0° [C] en la mayoría de los sensores por lo que se determinó que en ese instante se alcanzó una temperatura promedio muy cercana a los cero grados en todo el compartimento del congelador, el tiempo transcurrido para alcanzar estas condiciones se determinó con la expresión empleada en la primera parte.

$$tiempo\ total = \frac{365 \times 2 [s]}{60} = 12.16 [min]$$

De la misma manera como en el caso anterior se obtuvo la gráfica de los valores de temperatura registrados en cada sensor para cada uno de los registros como se muestra en la gráfica de la figura 39.

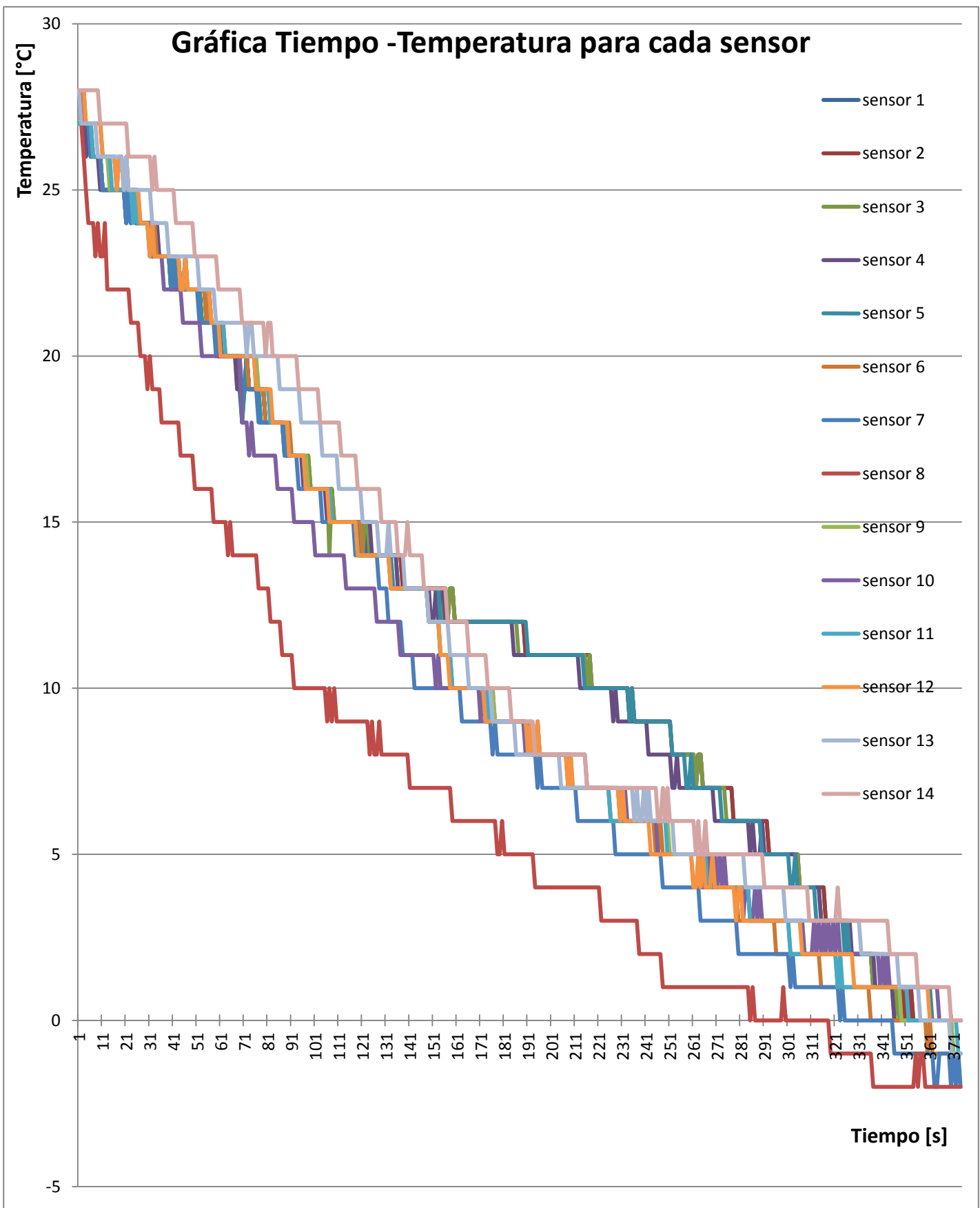


Figura 39. Gráfica Tiempo-Temperatura de los resultados obtenidos con el arreglo alternativo A

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ARREGLO ALTERNATIVO B

Finalmente se muestran los resultados obtenidos de la tercera etapa del experimento con el arreglo alternativo B, los resultados se muestran en la tabla 11.

REGISTROS	TEMPERATURA REGISTRADA EN LOS SENSORES [°C]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	28	27	27	27	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28
2	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27	28
3	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27	28
4	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28
5	27	27	26	27	27	27	27	26	27	27	27	27	27	28
6	26	26	26	27	26	26	26	26	27	27	27	27	27	28
7	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	27	28
8	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	27	28
9	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	26	28
10	26	26	26	26	26	26	26	25	27	26	26	27	26	27
11	25	25	25	26	25	25	25	25	26	26	26	26	26	27

.
.

.

.

.

279	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	2	0	1	2
280	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	2
281	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
282	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	2
283	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	2
284	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
285	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
286	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
287	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
288	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
289	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0
290	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
291	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	-1	0	0

Tabla 11. Resultados obtenidos con el arreglo alternativo B

*Los resultados completos se muestran en el anexo C

A partir del registro 287 se registró una mayoría de sensores con una lectura de 0 [°C] por lo que para este instante fue posible determinar que la mayor parte del espacio dentro del compartimento se encontraba a esta temperatura, el tiempo requerido para alcanzar estas condiciones fue el siguiente.

$$tiempo\ total = \frac{287 \times 2 [s]}{60} = 9.56 [min]$$

En la gráfica de la figura 40 se muestra el registro del descenso de la temperatura en cada uno de los sensores conforme transcurre el tiempo.

Gráfica Tiempo - Temperatura para cada sensor

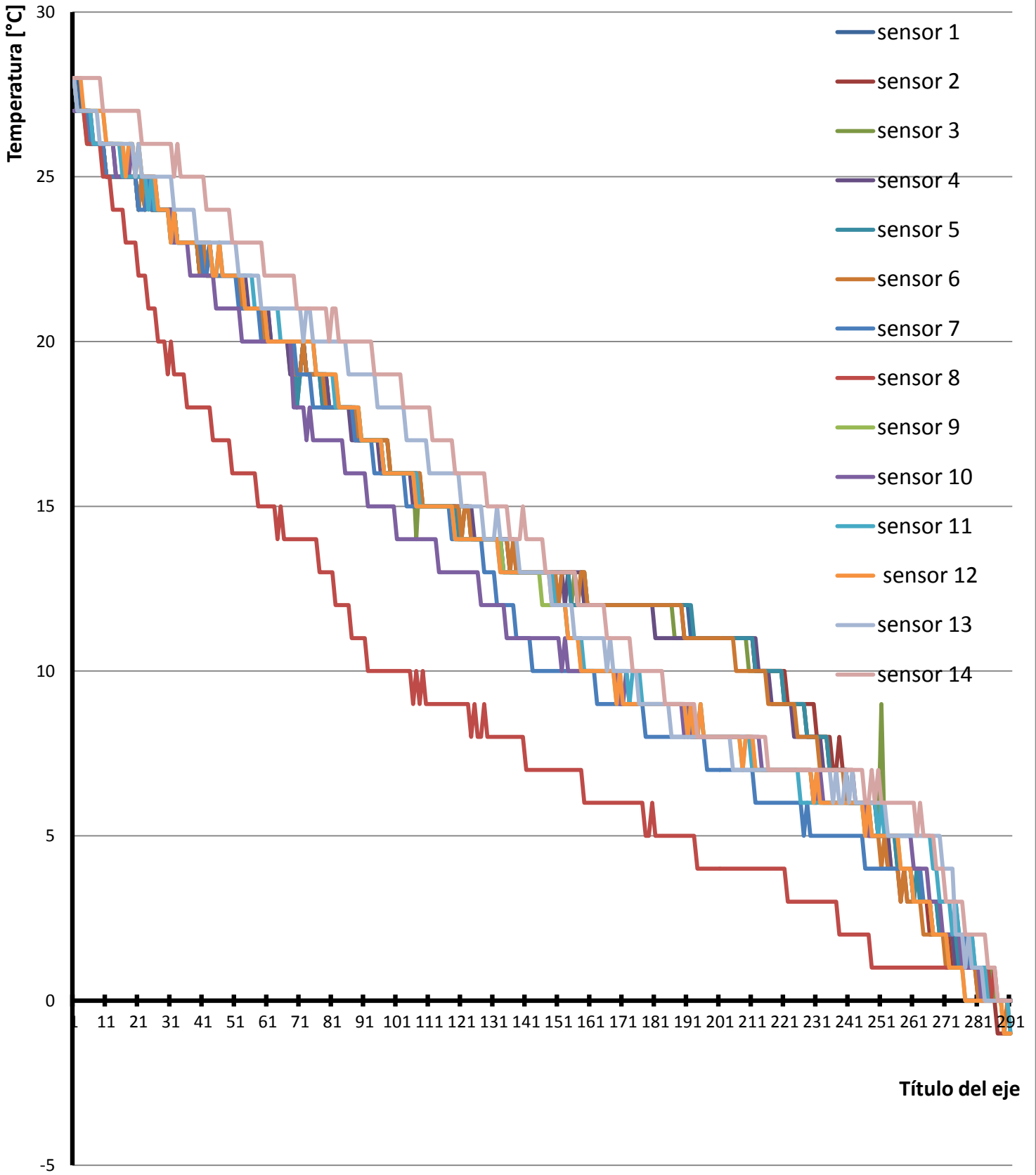


Figura 40. Grafica de los resultados obtenidos con el arreglo alternativo B

CAPITULO 5. CONCLUSIONES

5.1. OBSERVACIONES

En base a los resultados obtenidos es posible realizar algunas conclusiones pero antes de esto es necesario realizar algunas observaciones.

- Los materiales de aislamiento no son exactamente iguales a los que se emplean en la fabricación de los refrigeradores comerciales y por tanto esto pudiera variar los resultados, aunque este efecto pudiera resultar despreciable.
- Las placas del evaporador en un refrigerador domestico están hechas de placas planas las cuales pudieran de alguna manera distribuir la temperatura de una manera más uniforme, sin embargo la manufactura de este tipo de placas resultaba en un proceso laborioso y costoso.
- El censado de la temperatura se realizó únicamente en el congelador debido a las limitaciones del equipo electrónico para integrar más sensores y también debido a las limitaciones económicas.
- La celda de los sensores se colocó lo más centrado posible en cada parte del experimento para no alterar los resultados, ya que el cambio de posición de las placas del evaporador aumentarían o reducirían la distancia entre los sensores haciendo esto muy evidente la diferencia de los resultados en cada prueba.

5.2. CONCLUSIONES

A partir de estas observaciones es posible realizar las conclusiones de los resultados obtenidos, a continuación se muestra en la tabla 12 un resumen de los resultados.

Prueba	Tiempo registrado [min]
Arreglo tradicional	10.46
Arreglo alternativo "A"	12.16
Arreglo alternativo "B"	9.56

Tabla 12. Resumen de resultados obtenidos

- Es evidente que el arreglo alternativo "B" requiere de un menor tiempo para llegar a una temperatura aproximada a 0[°C] en la mayor parte del espacio del compartimento del congelador, a pesar de que la diferencia es cercana a un minuto esto puede representar un ahorro energético, pues se alcanzan las condiciones de congelamiento en un menor tiempo, de tal modo que el ahorro con el arreglo alternativo "B" representa el 8.6% en la reducción del tiempo de trabajo, esto puede representar un ahorro significativo si se toma en cuenta este ahorro energético durante los 5 años de la vida útil de un refrigerador.
- Por otra parte, los resultados pudieran ser más representativos si se pudiera colocar un mayor número de sensores, especialmente dentro del compartimento de refrigeración, esto con la finalidad de corroborar si con el arreglo alternativo B también es posible alcanzar una temperatura de diseño en menor tiempo, con lo cual el termostato del refrigerador podría apagar el sistema generando así un ahorro en el consumo eléctrico.
- Finalmente se sabe que el **COP** representa la eficiencia de la maquina frigorífica, por tanto este parámetro está en función de la temperatura inicial y final del refrigerante y por tanto de esta manera es posible realizar un ahorro significativo en el consumo de la energía, desafortunadamente al tratar de mejorar este parámetro es necesario un estudio más exhaustivo de todo el sistema.

5.3. TRABAJOS A FUTURO

- Este experimento deja las opciones abiertas para realizar las pruebas con un mayor número de sensores dentro de la cámara de refrigeración, para así encontrar la influencia del cambio en el acomodo de las placas del evaporador.
- Existen muchas maneras de acomodar las placas del evaporador, sin embargo en algunos casos se puede limitar el espacio disponible para guardar los alimentos y por tanto no tendría sentido para fines comerciales del producto final.
- Estas alternativas en el acomodo y orientación de las placas del evaporador no son las únicas, y por tanto las posibilidades de más opciones quedan abiertas para los interesados en el tema, además de que estas y otras propuestas pueden ser llevadas a el análisis de fluidos en donde se pueda determinar cuál de todas estas opciones conduce a un mayor ahorro energético y aún más interesante, cuál de estas opciones conduce a la eliminación de una convección forzada.
- Finalmente este o los trabajos futuros referidos a las placas del evaporador pueden derivar en una nueva norma oficial para el acomodo y orientación del evaporador, lo cual implicara un estudio más formal acerca de estas normas.

ANEXOS

Anexo A

REGISTROS	TEMPERATURA REGISTRADA EN LOS SENSORES [°C]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	28	28	28	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28	28
2	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28
3	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	28
4	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27	27	28
5	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	28
6	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	28
7	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27	27	28
8	23	23	23	23	23	23	23	23	27	27	27	27	27	28
9	24	24	24	24	24	24	24	24	26	27	26	27	26	28
10	23	23	23	23	23	23	23	23	26	27	26	27	26	27
11	23	23	23	23	23	23	23	23	26	26	26	26	26	27
12	24	24	24	24	24	24	24	24	26	26	26	26	26	27
13	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	26	27
14	23	22	23	22	22	22	22	22	26	26	26	26	26	27
15	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	26	27
16	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	26	27
17	23	22	23	22	22	22	22	22	25	25	25	25	25	27
18	22	22	22	22	22	22	22	22	26	26	26	26	26	27
19	21	22	21	22	22	22	22	22	26	26	26	26	26	27
20	21	22	21	22	22	22	22	22	25	25	25	25	25	27
21	21	22	21	22	22	22	22	22	25	26	25	25	25	27
22	21	21	21	21	22	22	21	22	25	25	25	25	25	26
23	20	21	20	21	22	21	21	21	25	25	25	25	25	26
24	21	21	21	21	21	21	21	21	25	25	25	25	25	26
25	21	21	21	21	21	21	21	21	25	25	25	25	25	26
26	20	21	20	21	20	21	20	21	25	25	25	25	25	26
27	20	21	20	21	20	20	20	20	24	24	24	24	24	26
28	20	20	20	20	20	20	20	20	24	24	24	24	24	26
29	20	20	20	20	20	20	20	20	24	24	24	24	24	26
30	19	20	19	20	19	19	19	19	24	24	24	24	24	26
31	19	20	19	20	19	20	19	20	24	24	24	24	23	26
32	19	19	19	19	19	19	19	19	23	23	23	23	23	25

33	19	19	19	19	19	19	19	19	23	23	23	23	24	26
34	18	19	18	19	18	19	18	19	23	23	23	23	22	25
35	18	19	18	19	18	19	18	19	23	23	23	23	22	25
36	18	19	18	19	18	18	18	18	23	23	23	23	22	25
37	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	22	25
38	18	19	18	19	18	18	18	18	22	22	22	22	22	25
39	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	22	25
40	19	18	19	18	19	18	18	18	22	22	22	22	22	25
41	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	22	25
42	18	18	18	18	18	18	18	18	22	22	22	22	22	24
43	17	17	17	17	17	18	17	18	21	22	21	22	21	24
44	17	17	17	17	17	17	17	17	21	22	21	22	21	24
45	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	21	24
46	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	21	24
47	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	21	24
48	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	21	24
49	17	17	17	17	17	17	17	17	21	21	21	21	20	24
50	17	17	17	17	17	16	17	16	21	21	21	21	20	23
51	16	17	16	17	17	16	17	16	21	21	21	21	20	23
52	17	17	17	17	17	16	17	16	21	21	21	21	20	23
53	17	17	17	17	16	16	16	16	20	20	20	20	19	23
54	16	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20	19	23
55	16	17	16	17	16	16	16	16	20	20	20	20	19	23
56	16	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20	19	23
57	16	16	16	16	15	16	15	16	20	20	20	20	19	23
58	16	16	16	16	15	15	15	15	20	20	20	20	18	23
59	16	16	16	16	15	15	15	15	20	20	20	20	19	23
60	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	18	22
61	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	18	22
62	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	18	22
63	16	16	16	16	15	15	15	15	19	19	19	19	18	22
64	15	16	15	16	14	14	14	14	19	19	19	19	17	22
65	15	15	15	15	14	15	14	15	19	19	19	19	17	22
66	15	15	15	15	14	14	14	14	19	19	19	19	17	22
67	15	15	15	15	14	14	14	14	19	19	19	19	17	22
68	15	15	15	15	14	14	14	14	19	19	19	19	17	22
69	15	15	15	15	14	14	14	14	18	18	18	18	17	22
70	15	15	15	15	13	14	14	14	18	18	18	18	17	21
71	15	15	15	15	14	14	14	14	18	18	18	18	17	21
72	15	15	15	15	13	14	13	14	18	18	18	18	17	21
73	15	15	15	15	13	14	13	14	17	17	17	17	17	21

74	15	15	15	15	13	13	13	13	17	17	17	17	16	21
75	14	14	14	14	13	13	13	13	17	17	17	17	16	21
76	14	15	14	15	12	13	12	13	17	17	17	17	16	21
77	15	14	15	14	12	13	12	13	17	17	17	17	16	20
78	14	15	14	15	12	13	12	13	17	17	17	17	16	21
79	14	14	14	14	12	12	12	12	17	17	17	17	16	21
80	14	14	14	14	12	12	12	12	17	17	17	17	16	20
81	14	14	14	14	12	12	12	12	16	17	16	17	16	20
82	14	14	14	14	11	12	11	12	16	16	16	16	16	20
83	14	14	14	14	11	12	11	12	16	16	16	16	15	20
84	14	14	14	14	11	11	11	11	16	16	16	16	15	20
85	14	14	14	14	11	11	11	11	16	16	16	16	15	20
86	14	14	14	14	11	11	11	11	16	16	16	16	15	20
87	14	14	14	14	10	11	10	11	16	16	16	16	15	20
88	13	14	13	14	10	11	10	11	16	15	16	15	15	20
89	13	14	13	14	10	10	10	10	15	15	15	15	15	20
90	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	15	20
91	13	14	13	14	10	10	10	10	15	15	15	15	15	19
92	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	15	19
93	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	15	19
94	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	15	19
95	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	15	19
96	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	14	19
97	13	13	13	13	10	10	10	10	15	15	15	15	15	19
98	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	14	19
99	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	15	19
100	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	14	18
101	13	13	13	13	9	10	9	10	14	14	14	14	14	18
102	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	14	18
103	13	13	13	13	9	9	9	9	14	14	14	14	14	18
104	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	14	14	14	18
105	12	13	12	13	10	9	10	9	14	14	14	14	14	18
106	12	13	12	13	9	10	9	10	14	14	14	13	14	18
107	12	12	12	12	9	9	9	9	14	14	14	14	14	18
108	12	13	12	13	9	9	9	9	13	14	13	13	14	18
109	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	13	17
110	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	13	16
111	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	13	16
112	12	12	12	12	9	9	9	9	13	13	13	13	13	16
113	12	12	12	12	9	8	9	8	13	13	13	13	13	16
114	12	12	12	12	8	9	8	9	13	13	13	13	13	16

115	11	11	11	11	8	8	8	8	13	13	13	12	13	16
116	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	13	16
117	11	12	11	12	8	9	8	9	12	12	12	12	13	16
118	11	12	11	12	8	8	8	8	12	12	12	12	13	15
119	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	13	15
120	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	12	15
121	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	12	15
122	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	12	15
123	11	11	11	11	8	8	8	8	12	12	12	12	12	15
124	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	11	15
125	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	11	15
126	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	12	15
127	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	12	14
128	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	11	14
129	11	11	11	11	8	8	8	8	11	11	11	11	11	15
130	11	11	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	11	14
131	11	11	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	11	14
132	10	11	10	11	8	7	8	7	11	11	11	11	11	14
133	11	11	11	11	7	7	7	7	11	11	11	11	11	14
134	10	11	10	11	7	7	7	7	11	11	11	11	11	14
135	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	14
136	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	14
137	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	13
138	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	13
139	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	13
140	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	13
141	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	11	13
142	10	10	10	10	7	7	7	7	11	11	11	11	11	13
143	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	11	13
144	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	10	13
145	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	10	13
146	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	10	12
147	10	10	10	10	7	7	7	7	10	10	10	10	10	12
148	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
149	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
150	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
151	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
152	10	10	10	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
153	9	10	9	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
154	9	9	9	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	12
155	9	10	9	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11

156	9	9	9	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11
157	9	9	9	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11
158	9	9	9	10	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11
159	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11
160	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11
161	9	9	9	9	6	6	6	6	10	10	10	10	10	11
162	9	9	9	9	6	6	6	6	9	9	9	9	10	11
163	9	9	9	9	6	6	6	6	9	9	9	9	9	10
164	9	9	9	9	6	6	6	6	9	9	9	9	10	10
165	9	9	9	9	6	6	6	6	9	9	9	9	9	10
166	9	9	8	9	5	6	5	6	9	9	9	9	9	10
167	9	9	8	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	10
168	9	9	8	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	10
169	9	9	8	9	5	6	5	6	9	9	9	9	9	10
170	9	9	8	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	10
171	9	9	8	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	10
172	8	9	8	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	10
173	8	9	8	9	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
174	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
175	8	8	8	8	4	5	4	5	9	9	9	9	9	9
176	8	8	8	8	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
177	8	8	8	8	4	5	4	5	8	8	8	8	9	9
178	8	8	8	8	5	5	5	5	8	8	8	8	9	9
179	8	8	8	8	5	4	5	4	8	8	8	8	8	8
180	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
181	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
182	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
183	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
184	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
185	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
186	8	8	8	8	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
187	8	8	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
188	8	8	8	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
189	7	8	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
190	7	8	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
191	7	8	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
192	7	8	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
193	7	7	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
194	7	7	7	7	3	4	4	4	8	8	8	8	8	8
195	7	7	7	7	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8
196	7	7	7	7	3	4	4	4	8	8	8	8	8	8

197	7	7	7	7	3	4	3	4	8	8	8	8	8	8
198	7	7	7	7	3	3	3	3	7	8	7	8	8	8
199	7	7	7	7	3	3	3	3	7	8	7	8	8	8
200	7	7	7	7	3	3	3	3	7	8	7	8	8	8
201	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	8	8
202	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
203	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
204	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
205	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
206	6	7	6	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
207	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
208	7	7	7	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
209	6	7	6	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7
210	6	6	6	6	3	3	3	3	7	7	7	7	7	8
211	6	7	6	7	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7
212	6	7	6	7	2	3	2	3	7	7	7	7	7	8
213	5	5	5	5	1	2	1	2	6	6	6	5	6	7
214	5	5	5	5	2	2	2	2	5	5	5	5	5	6
215	5	5	5	5	1	2	1	2	5	5	5	5	5	6
216	5	5	5	5	2	1	2	1	5	5	5	5	5	7
217	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
218	5	5	5	5	2	1	2	1	5	5	5	5	5	7
219	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
220	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
221	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
222	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
223	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
224	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
225	5	4	5	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
226	4	5	4	5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
227	5	4	5	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
228	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
229	5	4	5	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
230	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
231	5	4	5	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
232	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	5	6
233	5	4	5	4	1	1	1	1	4	4	4	4	4	5
234	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	4	4
235	4	4	4	4	1	1	1	1	4	4	4	4	5	5
236	4	4	4	4	1	1	1	1	5	5	5	5	4	6
237	4	4	4	4	0	0	0	1	4	4	4	4	4	5

238	4	4	4	4	1	0	1	1	5	5	5	5	4	5
239	4	4	4	4	1	0	1	1	4	4	4	4	4	5
240	4	4	4	4	0	0	1	1	5	5	5	5	4	5
241	3	4	3	4	0	0	1	1	4	4	4	4	4	5
242	4	4	4	4	0	0	1	1	5	5	5	5	4	5
243	4	4	4	4	0	0	1	1	4	4	4	4	4	5
244	3	4	3	4	0	0	1	1	4	4	4	4	4	5
245	3	4	3	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5
246	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5
247	3	4	3	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5
248	4	3	4	3	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5
249	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	4	5
250	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	4	5
251	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5
252	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	4	5
253	3	3	3	3	0	0	0	0	4	4	4	4	3	5
254	3	3	3	3	-1	0	0	0	3	3	3	3	3	5
255	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	5
256	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	5
257	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
258	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
259	2	2	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
260	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
261	2	2	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
262	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
263	2	2	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
264	3	2	3	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
265	2	3	2	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
266	3	2	3	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
267	2	2	2	2	0	0	0	0	3	2	3	2	2	4
268	2	2	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	4
269	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3
270	2	2	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	4
271	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3
272	2	2	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	4
273	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3
274	2	2	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	3
275	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3
276	2	2	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	4
277	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3
278	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3

279	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3
280	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3
281	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3
282	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3
283	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3
284	1	2	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	3
285	1	2	1	1	0	0	-1	0	0	1	1	1	1	2
286	1	2	1	1	0	0	-1	0	0	1	1	1	1	2
287	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
288	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
289	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
290	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
291	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
292	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
293	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
294	1	1	1	0	0	0	-1	-1	1	1	1	1	1	2
295	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
296	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
297	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
298	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
299	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
300	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
301	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
302	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
303	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
304	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
305	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
306	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
307	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	2
308	1	0	1	0	0	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1
309	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	0	1	0	1
310	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	0	1	0	1
311	1	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
312	1	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
313	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	1	0	1	0	1
314	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
315	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
316	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
317	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
318	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
319	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1

320	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
321	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
322	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	1
323	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	1	0	1
324	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	1	0	1
325	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	1	0	1

Anexo B

REGISTROS	TEMPERATURA REGISTRADA EN LOS SENSORES [°C]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	27	27	27	27	28	28	28	28	27	28	27	28	28	28
2	27	27	27	27	27	28	27	27	27	28	27	28	27	28
3	27	27	27	27	27	27	27	26	27	28	27	28	27	28
4	26	27	27	26	27	27	27	25	27	27	27	27	27	28
5	27	27	27	27	27	27	27	24	27	27	27	27	27	28
6	26	26	26	26	26	27	26	24	27	27	27	27	27	28
7	26	26	26	26	26	26	26	24	26	27	26	27	27	28
8	26	26	26	26	26	26	26	23	26	27	26	27	27	28
9	26	26	26	26	26	26	26	24	26	27	26	27	26	28
10	26	26	26	25	26	26	26	23	26	27	26	27	26	27
11	25	25	25	25	25	25	25	23	26	26	26	26	26	27
12	25	25	25	25	25	25	25	24	26	26	26	26	26	27
13	25	25	25	25	25	25	25	22	26	26	26	26	26	27
14	25	25	25	25	25	25	25	22	25	26	26	26	26	27
15	25	25	25	25	25	25	25	22	25	26	25	26	26	27
16	25	25	25	25	25	25	25	22	25	26	25	26	26	27
17	25	25	25	25	25	25	25	22	25	25	25	25	26	27
18	25	25	25	25	25	25	25	22	25	26	25	26	26	27
19	25	25	25	25	25	25	25	22	25	26	25	26	26	27
20	25	25	25	25	25	25	25	22	25	25	25	25	25	27
21	24	24	24	25	24	25	24	22	25	26	25	26	26	27
22	25	25	25	25	25	25	25	22	25	25	25	25	25	26
23	24	24	24	24	24	25	24	21	25	25	25	25	25	26
24	25	25	25	25	25	25	25	21	25	25	24	25	25	26
25	24	24	24	25	24	25	24	21	25	25	25	25	25	26
26	24	24	24	24	24	24	24	21	24	25	24	25	25	26
27	24	24	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	25	26
28	24	24	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	25	26
29	24	24	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	25	26
30	24	24	24	24	24	24	24	19	24	24	24	24	25	26

31	24	24	24	24	24	24	23	20	23	24	23	23	25	26
32	24	24	24	24	24	24	23	19	24	23	24	24	24	25
33	23	23	23	24	23	24	23	19	23	23	23	23	24	26
34	23	23	23	24	23	23	23	19	23	23	23	23	24	25
35	23	23	23	23	23	23	23	19	23	23	23	23	24	25
36	23	23	23	23	23	23	23	18	23	23	23	23	24	25
37	23	23	23	23	23	23	23	18	23	22	23	23	24	25
38	23	23	23	23	23	23	23	18	23	22	23	23	24	25
39	23	23	23	23	23	23	23	18	23	22	23	23	23	25
40	22	22	22	23	22	23	23	18	23	22	23	23	23	25
41	23	23	23	23	23	23	22	18	23	22	23	23	23	25
42	22	22	22	22	22	23	22	18	23	22	23	23	23	24
43	22	22	22	23	22	23	23	18	23	22	23	23	23	24
44	22	22	22	22	22	22	22	17	22	22	22	22	23	24
45	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
46	22	22	22	22	22	23	22	17	23	21	23	23	23	24
47	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
48	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
49	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
50	22	22	22	22	22	22	22	16	22	21	22	22	23	23
51	22	22	22	22	22	22	22	16	22	21	22	22	23	23
52	22	22	22	22	22	22	21	16	22	21	22	22	22	23
53	21	21	21	22	21	22	21	16	22	20	22	22	22	23
54	21	21	21	22	21	22	21	16	22	20	22	22	22	23
55	21	21	21	21	21	21	21	16	22	20	22	22	22	23
56	21	21	21	21	21	22	21	16	22	20	22	22	22	23
57	21	21	21	21	21	21	21	16	21	20	21	21	22	23
58	21	21	21	21	21	21	21	15	21	20	21	21	22	23
59	21	21	21	21	21	21	20	15	21	20	21	21	21	23
60	20	20	20	21	20	21	20	15	21	20	21	21	21	22
61	20	20	20	21	20	21	20	15	21	20	21	20	21	22
62	20	20	20	20	20	21	20	15	21	20	21	20	21	22
63	20	20	20	20	20	20	20	15	20	20	20	20	21	22
64	20	20	20	20	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
65	20	20	20	20	20	20	20	15	20	20	20	20	21	22
66	20	20	20	20	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
67	20	20	20	20	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
68	20	20	19	19	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
69	19	19	19	19	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
70	18	19	19	19	18	20	19	14	20	18	20	20	21	21
71	19	19	19	19	19	20	19	14	20	18	20	20	21	21

72	20	20	20	20	20	20	19	14	20	18	20	20	20	21
73	19	19	19	19	19	19	19	14	20	17	20	20	21	21
74	19	19	19	19	19	19	19	14	20	18	20	20	21	21
75	19	19	19	19	19	19	19	14	20	17	20	20	20	21
76	19	19	19	19	19	19	19	14	20	17	19	19	20	21
77	19	19	19	19	19	19	18	13	19	17	19	19	20	21
78	19	19	19	19	18	19	18	13	19	17	19	19	20	21
79	19	19	19	19	18	19	18	13	19	17	19	19	20	21
80	18	18	18	18	18	18	18	13	19	17	19	19	20	20
81	18	18	18	18	18	18	18	13	19	17	19	19	20	21
82	18	18	18	18	18	18	18	12	18	17	18	19	20	21
83	18	18	18	18	18	18	18	12	18	17	18	18	20	20
84	18	18	18	18	18	18	18	12	18	17	18	18	20	20
85	18	18	18	18	18	18	18	12	18	16	18	18	20	20
86	18	18	18	18	18	18	18	12	18	16	18	18	19	20
87	18	18	18	18	18	18	18	11	18	16	18	18	19	20
88	18	17	17	18	18	18	17	11	18	16	18	18	19	20
89	17	17	18	17	17	18	17	11	18	16	18	18	19	20
90	17	17	17	17	17	18	17	11	17	16	17	17	19	20
91	17	17	17	17	17	17	17	11	17	16	17	17	19	20
92	17	17	17	17	17	17	17	10	17	15	17	17	19	20
93	17	17	17	17	17	17	17	10	17	15	17	17	19	20
94	17	17	17	17	17	17	16	10	17	15	17	17	19	19
95	17	17	17	17	17	17	16	10	17	15	17	17	18	19
96	17	17	17	16	17	17	16	10	17	15	17	17	18	19
97	16	17	17	16	16	17	16	10	17	15	16	16	18	19
98	16	17	17	16	16	16	16	10	16	15	16	16	18	19
99	16	16	16	16	16	16	16	10	16	15	16	16	18	19
100	16	16	16	16	16	16	16	10	16	15	16	16	18	19
101	16	16	16	16	16	16	16	10	16	14	16	16	18	19
102	16	16	16	16	16	16	16	10	16	14	16	16	18	19
103	16	16	16	16	16	16	16	10	16	14	16	16	18	18
104	16	16	16	16	16	16	15	10	16	14	16	16	17	18
105	16	16	16	16	16	16	15	10	16	14	16	16	17	18
106	16	16	16	15	16	16	15	9	16	14	16	16	17	18
107	16	16	14	15	16	16	15	10	16	14	16	15	17	18
108	15	16	16	15	15	15	15	9	15	14	15	15	17	18
109	15	15	15	15	15	15	15	10	15	14	15	15	17	18
110	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	17	18
111	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	16	18
112	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	16	17

113	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	16	17
114	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
115	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
116	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
117	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
118	15	15	15	15	15	15	14	9	15	13	15	15	16	17
119	15	15	14	15	15	15	14	9	14	13	14	14	16	16
120	15	15	15	15	14	15	14	9	14	13	14	14	16	16
121	14	14	14	15	14	14	14	9	14	13	14	14	15	16
122	15	15	15	15	14	14	14	9	14	13	14	14	15	16
123	14	15	15	15	14	14	14	9	14	13	14	14	15	16
124	14	14	14	15	14	14	14	8	14	13	14	14	15	16
125	14	14	14	14	14	14	14	9	14	13	14	14	15	16
126	14	14	14	14	14	14	14	8	14	13	14	14	15	16
127	14	14	14	14	14	14	14	8	14	12	14	14	15	16
128	14	14	14	14	14	14	13	9	14	12	14	14	14	16
129	14	14	14	14	14	14	13	8	14	12	14	14	14	15
130	14	14	14	14	14	14	13	8	14	12	14	14	14	15
131	14	14	14	14	14	14	13	8	14	12	14	14	14	15
132	14	14	14	14	14	14	12	8	14	12	14	14	15	15
133	14	14	14	14	14	13	12	8	13	12	13	13	14	15
134	14	14	14	14	13	13	12	8	13	12	13	13	14	15
135	14	14	14	14	13	13	12	8	13	12	13	13	14	15
136	14	14	13	13	13	13	12	8	13	12	13	13	14	14
137	14	14	13	13	13	13	12	8	13	11	13	13	14	14
138	13	13	13	13	13	13	11	8	13	11	13	13	14	14
139	13	13	13	13	13	13	11	8	13	11	13	13	13	14
140	13	13	13	13	13	13	11	8	13	11	13	13	13	15
141	13	13	13	13	13	13	11	7	13	11	13	13	13	14
142	13	13	13	13	13	13	11	7	13	11	13	13	13	14
143	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14
144	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14
145	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14
146	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14
147	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	13
148	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	13
149	13	13	13	13	13	12	10	7	12	11	12	12	12	13
150	13	13	13	12	13	12	10	7	12	11	12	12	12	13
151	13	13	13	12	13	12	10	7	12	11	12	12	12	13
152	13	13	13	13	13	12	10	7	12	10	12	12	12	13
153	13	13	13	12	13	12	10	7	12	11	12	12	12	13

154	13	13	13	13	12	11	10	7	11	10	11	11	12	13
155	13	13	12	13	12	11	10	7	11	10	11	11	12	13
156	13	13	13	12	12	11	10	7	11	10	11	11	12	13
157	12	12	12	12	12	11	10	7	11	10	11	11	12	12
158	13	13	13	12	12	11	10	7	11	10	11	10	11	12
159	13	13	13	12	12	10	10	6	10	10	10	10	11	12
160	12	12	12	12	12	10	10	6	10	10	10	10	11	12
161	12	12	12	12	12	10	10	6	10	10	10	10	11	12
162	12	12	12	12	12	10	10	6	10	10	10	10	11	12
163	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	11	12
164	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	11	12
165	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	11	12
166	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	10	11
167	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	10	11
168	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	10	11
169	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	10	11
170	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	10	11
171	12	12	12	12	12	10	9	6	10	9	10	10	10	11
172	12	12	12	12	12	10	9	6	10	10	10	10	10	11
173	12	12	12	12	12	9	9	6	9	9	9	9	10	11
174	12	12	12	12	12	10	9	6	9	9	10	9	10	10
175	12	12	12	12	12	9	9	6	9	9	9	9	10	10
176	12	12	12	12	12	10	8	6	10	9	9	9	9	10
177	12	12	12	12	12	9	9	6	9	9	9	9	9	10
178	12	12	12	12	12	9	8	5	9	9	9	9	9	10
179	12	12	12	12	12	9	8	5	9	9	9	9	9	10
180	12	12	12	12	12	9	8	6	9	9	9	9	9	10
181	12	12	12	12	12	9	8	5	9	9	9	9	9	10
182	12	12	12	12	12	9	8	5	9	9	9	9	9	10
183	12	12	12	12	12	9	8	5	9	9	9	9	9	10
184	12	12	12	12	12	9	8	5	9	9	9	9	9	9
185	12	12	12	11	12	9	8	5	9	9	9	9	9	9
186	12	12	12	11	12	9	8	5	9	9	9	9	8	9
187	12	12	11	11	12	9	8	5	9	9	9	9	8	9
188	12	12	11	11	12	9	8	5	9	9	9	9	8	9
189	12	12	11	11	12	9	8	5	9	9	9	9	8	9
190	11	11	11	11	12	9	8	5	9	8	9	9	8	9
191	11	11	11	11	11	8	8	5	8	9	8	8	8	9
192	11	11	11	11	11	9	8	5	9	8	9	9	8	9
193	11	11	11	11	11	8	8	5	8	8	8	8	8	9
194	11	11	11	11	11	8	8	4	8	8	8	8	8	8

195	11	11	11	11	11	9	7	4	9	8	9	9	8	8
196	11	11	11	11	11	8	8	4	8	8	8	8	8	8
197	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
198	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
199	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
200	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
201	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
202	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
203	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
204	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	8	8
205	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	7	8
206	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	7	8
207	11	11	11	11	11	8	7	4	8	8	8	8	7	8
208	11	11	11	11	11	7	7	4	8	8	8	7	7	8
209	11	11	11	11	11	7	7	4	8	8	7	8	7	8
210	11	11	11	11	11	7	7	4	7	8	7	7	7	8
211	11	11	11	11	11	7	7	4	7	8	7	7	7	8
212	11	11	11	11	11	7	6	4	7	8	7	7	7	8
213	11	11	11	10	11	7	6	4	7	8	7	7	7	8
214	11	11	11	10	11	7	6	4	7	8	7	7	7	8
215	11	11	11	10	10	7	6	4	7	8	7	7	7	8
216	11	11	10	10	10	7	6	4	7	7	7	7	7	7
217	11	11	11	10	10	7	6	4	7	7	7	7	7	7
218	10	10	10	10	10	7	6	4	7	7	7	7	7	7
219	10	10	10	10	10	7	6	4	7	7	7	7	7	7
220	10	10	10	10	10	7	6	4	7	7	7	7	7	7
221	10	10	10	10	10	7	6	4	7	7	7	7	7	7
222	10	10	10	10	10	7	6	3	7	7	7	7	7	7
223	10	10	10	10	10	7	6	3	7	7	7	7	7	7
224	10	10	10	10	10	7	6	3	7	7	7	7	7	7
225	10	10	10	10	10	7	6	3	7	7	7	7	7	7
226	10	10	10	10	10	6	6	3	6	7	6	7	7	7
227	10	10	10	9	10	6	6	3	6	7	6	7	7	7
228	10	10	10	10	10	6	5	3	6	7	6	7	7	7
229	10	10	10	9	10	6	5	3	6	7	6	7	7	7
230	10	10	10	9	10	6	5	3	6	6	6	6	7	7
231	10	10	10	9	10	6	5	3	6	7	6	7	7	7
232	10	10	10	9	10	6	5	3	6	7	6	6	7	7
233	10	10	10	9	10	6	5	3	6	6	6	6	7	7
234	9	9	9	9	9	6	5	3	6	6	6	6	7	7
235	10	10	10	9	10	6	5	3	6	6	6	6	7	7

236	9	9	9	9	9	6	5	3	6	6	6	6	6	7
237	9	9	9	9	9	6	5	3	6	6	6	6	7	7
238	9	9	9	9	9	6	5	2	6	6	6	6	6	7
239	9	9	9	9	9	6	5	2	6	6	6	6	6	7
240	9	9	9	9	9	6	5	2	6	6	6	6	7	7
241	9	9	9	9	9	6	5	2	6	6	6	6	6	7
242	9	9	9	8	9	6	5	2	6	6	6	6	7	7
243	9	9	9	8	9	6	5	2	6	6	6	5	6	7
244	9	9	9	8	9	6	5	2	6	6	6	5	6	7
245	9	9	9	8	9	5	5	2	6	6	6	5	6	7
246	9	9	9	8	9	5	5	2	6	5	6	5	6	6
247	9	9	9	8	9	6	5	2	6	5	6	5	6	6
248	9	9	9	8	9	5	4	1	6	5	6	5	6	7
249	9	9	9	8	9	5	4	1	6	5	6	5	6	6
250	9	9	9	8	9	5	4	1	6	5	5	5	6	7
251	9	9	9	8	9	5	4	1	5	5	5	5	6	6
252	8	8	8	7	8	5	4	1	5	5	5	5	6	6
253	8	8	8	7	8	5	4	1	5	5	5	5	5	6
254	8	8	8	8	8	5	4	1	5	5	5	5	5	6
255	8	8	8	7	8	5	4	1	5	5	5	5	5	6
256	8	8	8	7	8	5	4	1	5	5	5	5	5	6
257	8	8	8	7	8	5	4	1	5	5	5	5	5	6
258	8	8	8	7	7	5	4	1	5	5	5	5	5	6
259	8	8	8	7	7	5	4	1	5	5	5	5	5	6
260	8	8	8	7	8	5	4	1	5	5	5	5	5	6
261	8	8	8	7	7	4	4	1	5	5	5	4	5	6
262	7	7	7	7	7	4	4	1	5	5	5	4	5	5
263	8	8	8	7	7	4	4	1	5	5	5	5	5	6
264	8	8	8	7	7	4	3	1	5	5	5	4	5	5
265	7	7	7	7	7	4	3	1	5	4	5	5	5	5
266	7	7	7	7	7	4	3	1	5	5	5	4	5	6
267	7	7	7	7	7	4	3	1	4	4	4	4	5	5
268	7	7	7	7	7	4	3	1	4	5	4	4	5	5
269	7	7	7	7	7	4	3	1	4	4	4	5	5	5
270	7	7	7	6	7	4	3	1	4	5	4	4	5	5
271	7	7	7	6	7	4	3	1	4	4	4	4	5	5
272	7	7	7	6	7	4	3	1	4	5	4	4	5	5
273	7	7	7	6	6	4	3	1	4	4	4	4	5	5
274	7	7	7	6	6	4	3	1	4	5	4	4	5	5
275	7	7	6	6	6	4	3	1	4	4	4	4	5	5
276	7	7	6	6	6	4	3	1	4	4	4	4	5	5

277	7	7	6	6	6	4	3	1	4	4	4	4	5	5
278	6	6	6	6	6	4	3	1	4	4	4	4	5	5
279	6	6	6	6	6	4	3	1	4	4	4	3	5	5
280	6	6	6	6	6	3	2	1	4	4	4	4	5	5
281	6	6	6	6	6	3	2	1	4	4	4	4	5	5
282	6	6	6	6	6	3	2	1	4	3	4	3	5	5
283	6	6	6	6	6	3	2	1	4	4	4	3	4	5
284	6	6	6	6	6	3	2	1	4	4	4	3	4	5
285	6	6	6	5	6	3	2	0	3	3	3	3	4	5
286	6	6	6	6	6	3	2	1	3	3	3	3	4	5
287	6	6	6	5	6	3	2	0	3	4	3	3	4	5
288	6	6	6	5	6	3	2	0	3	3	3	3	4	5
289	6	6	6	5	6	3	2	0	3	4	3	3	4	5
290	6	6	5	6	5	3	2	0	3	3	3	3	4	5
291	6	6	5	5	5	3	2	0	3	3	3	3	4	4
292	6	6	5	5	5	3	2	0	3	3	3	3	4	4
293	5	5	5	5	5	3	2	0	3	3	3	3	4	4
294	5	5	5	5	5	3	2	0	3	3	3	3	4	4
295	5	5	5	5	5	3	2	0	3	3	3	3	4	4
296	5	5	5	5	5	2	2	0	3	3	3	3	4	4
297	5	5	5	5	5	2	2	0	3	3	3	3	4	4
298	5	5	5	5	5	2	2	0	3	3	3	3	4	4
299	5	5	5	5	5	2	2	1	3	3	3	3	4	4
300	5	5	5	5	5	2	2	0	3	3	3	3	3	4
301	5	5	5	5	5	2	2	0	3	3	3	3	3	4
302	5	5	5	5	4	2	1	0	2	3	2	3	3	4
303	5	5	5	5	4	2	2	0	2	3	2	3	3	4
304	5	5	5	5	5	2	1	0	2	3	2	3	3	4
305	5	5	5	4	4	2	1	0	2	3	2	3	3	4
306	4	4	4	4	4	2	1	0	2	3	2	3	3	4
307	4	4	4	4	4	2	1	0	2	3	2	2	3	4
308	4	4	4	4	4	2	1	0	2	2	2	2	3	4
309	4	4	4	4	4	2	1	0	2	2	2	2	3	4
310	4	4	4	4	4	2	1	0	2	2	2	2	3	3
311	4	4	4	4	4	2	1	0	2	2	2	2	3	3
312	4	4	4	4	4	2	1	0	2	3	2	2	3	3
313	4	4	4	4	3	2	1	0	2	2	2	2	3	3
314	4	4	4	4	3	2	1	0	2	3	2	2	3	3
315	4	4	3	3	3	1	1	0	2	2	2	2	3	3
316	4	4	3	3	3	1	1	0	2	3	2	2	3	3
317	3	3	3	3	3	1	1	0	2	2	2	2	3	3

318	3	3	3	3	3	1	1	0	2	3	2	2	3	3
319	3	3	3	3	3	1	1	-1	2	2	2	2	3	3
320	3	3	3	3	3	1	1	-1	2	3	2	2	3	3
321	3	3	3	3	3	1	1	-1	2	2	2	2	3	3
322	3	3	3	3	3	1	1	-1	1	3	1	2	3	4
323	3	3	3	3	3	1	0	-1	2	2	2	2	3	3
324	3	3	3	3	3	1	1	-1	1	2	1	2	3	3
325	3	3	3	3	2	1	0	-1	1	2	1	2	3	3
326	3	3	2	2	3	1	0	-1	1	2	1	2	3	3
327	2	2	2	3	2	1	0	-1	1	2	1	2	3	3
328	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	2	3	3
329	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	3	3
330	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	3	3
331	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	3	3
332	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	2	3
333	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	2	3
334	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	2	3
335	2	2	2	2	2	1	0	-1	1	2	1	1	2	3
336	2	2	2	2	2	0	0	-1	1	2	1	1	2	3
337	1	1	1	2	2	0	0	-2	1	2	1	1	2	3
338	1	1	1	1	2	0	0	-2	1	2	1	1	2	3
339	1	1	1	1	2	0	0	-2	1	2	1	1	2	3
340	1	1	1	1	2	0	0	-2	1	1	1	1	2	3
341	1	1	1	1	2	0	0	-2	1	2	1	1	2	3
342	1	1	1	1	2	0	0	-2	1	1	1	1	2	3
343	1	1	1	1	1	0	0	-2	1	2	1	1	2	3
344	1	1	1	1	1	0	0	-2	1	1	1	1	2	2
345	1	1	1	1	1	0	0	-2	1	1	1	1	2	2
346	1	1	0	0	1	0	-1	-2	1	1	1	1	2	2
347	1	1	1	0	1	0	-1	-2	1	1	1	1	2	2
348	1	1	0	0	1	0	-1	-2	1	1	1	1	1	2
349	1	1	0	0	1	0	-1	-2	0	1	1	1	1	2
350	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	1	1	1	1	2
351	1	1	0	0	1	0	-1	-2	0	1	1	1	1	2
352	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	1	0	1	1	2
353	1	1	0	0	1	0	-1	-2	0	1	0	1	1	2
354	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	1	0	1	1	2
355	0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	1	0	1	1	2
356	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	1	0	1	1	1
357	0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	1	0	1	0	1
358	0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	1	0	1	0	1

359	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	1	0	1	0	1
360	0	0	0	0	1	-1	-1	-2	0	1	0	1	0	1
361	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	1	0	0	0	1
362	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	1	0	0	0	1
363	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	1	0	0	0	1
364	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	1	0	0	0	1
365	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
366	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
367	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
368	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
369	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	1
370	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	0	0	0	-1	0
371	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-1	0	0	0	-1	0
372	0	0	0	-1	0	-1	-2	-2	-1	0	0	0	-1	0
373	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-1	0	-1	0	-1	0
374	0	0	0	-1	0	-1	-2	-2	-1	0	-1	0	-1	0

Anexo C

REGISTROS	TEMPERATURA REGISTRADA EN LOS SENSORES [°C]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	28	27	27	27	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28
2	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27	28
3	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	27	28
4	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28
5	27	27	26	27	27	27	27	26	27	27	27	27	27	28
6	26	26	26	27	26	26	26	26	27	27	27	27	27	28
7	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	27	28
8	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	27	28
9	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	26	28
10	26	26	26	26	26	26	26	25	27	26	26	27	26	27
11	25	25	25	26	25	25	25	25	26	26	26	26	26	27
12	25	25	25	26	25	25	25	25	26	26	26	26	26	27
13	25	25	25	26	25	25	25	24	26	26	26	26	26	27
14	25	25	25	25	25	25	25	24	26	25	26	26	26	27
15	25	25	25	25	25	25	25	24	26	25	26	26	26	27
16	25	25	25	25	25	25	25	24	26	25	25	26	26	27
17	25	25	25	25	25	25	25	23	25	25	25	25	26	27
18	25	25	25	25	25	25	25	23	26	25	25	26	26	27
19	25	25	25	25	25	25	25	23	26	26	25	26	26	27
20	25	25	25	25	25	25	25	23	25	25	25	25	25	27

21	24	24	24	25	24	24	24	22	26	25	25	26	26	27
22	25	25	25	25	25	25	24	22	25	25	25	25	25	26
23	24	24	24	25	24	24	24	22	25	25	25	25	25	26
24	25	25	25	25	25	25	25	21	25	25	24	25	25	26
25	24	24	24	25	24	24	24	21	25	25	25	25	25	26
26	24	24	24	24	24	24	24	21	25	25	24	25	25	26
27	24	24	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	25	26
28	24	24	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	25	26
29	24	24	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	25	26
30	24	24	24	24	24	24	24	19	24	24	24	24	25	26
31	24	24	24	24	24	24	23	20	23	24	23	23	25	26
32	24	24	24	24	24	24	23	19	24	23	24	24	24	25
33	23	23	23	23	23	23	23	19	23	23	23	23	24	26
34	23	23	23	23	23	23	23	19	23	23	23	23	24	25
35	23	23	23	23	23	23	23	19	23	23	23	23	24	25
36	23	23	23	23	23	23	23	18	23	23	23	23	24	25
37	23	23	23	23	23	23	23	18	23	22	23	23	24	25
38	23	23	23	23	23	23	23	18	23	22	23	23	24	25
39	23	23	23	23	23	23	23	18	23	22	23	23	23	25
40	22	22	22	23	22	22	23	18	23	22	23	23	23	25
41	23	23	23	23	23	23	22	18	23	22	23	23	23	25
42	22	22	22	22	22	22	22	18	23	22	23	23	23	24
43	22	22	22	23	22	22	23	18	23	22	23	23	23	24
44	22	22	22	22	22	22	22	17	22	22	22	22	23	24
45	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
46	22	22	22	22	22	22	22	17	23	21	23	23	23	24
47	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
48	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
49	22	22	22	22	22	22	22	17	22	21	22	22	23	24
50	22	22	22	22	22	22	22	16	22	21	22	22	23	23
51	22	22	22	22	22	22	22	16	22	21	22	22	23	23
52	22	22	22	22	22	22	21	16	22	21	22	22	22	23
53	21	21	21	22	21	21	21	16	22	20	22	22	22	23
54	21	21	21	22	21	21	21	16	21	20	22	21	22	23
55	21	21	21	21	21	21	21	16	21	20	22	21	22	23
56	21	21	21	21	21	21	21	16	21	20	22	21	22	23
57	21	21	21	21	21	21	21	16	21	20	21	21	22	23
58	21	21	21	21	21	21	21	15	21	20	21	21	22	23
59	21	21	21	21	21	21	20	15	21	20	21	21	21	23
60	21	20	20	21	20	20	20	15	21	20	21	21	21	22
61	21	20	20	21	20	20	20	15	20	20	21	20	21	22

62	20	20	20	20	20	20	20	15	20	20	21	20	21	22
63	20	20	20	20	20	20	20	15	20	20	21	20	21	22
64	20	20	20	20	20	20	20	14	20	20	21	20	21	22
65	20	20	20	20	20	20	20	15	20	20	20	20	21	22
66	20	20	20	20	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
67	20	20	20	20	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
68	20	20	19	19	20	20	20	14	20	20	20	20	21	22
69	20	19	19	19	20	19	20	14	20	18	20	20	21	22
70	18	19	19	19	18	19	19	14	20	18	20	20	21	21
71	19	19	19	19	19	19	19	14	20	18	20	20	21	21
72	20	20	20	20	20	20	19	14	20	18	20	20	20	21
73	19	19	19	19	19	19	19	14	20	17	20	20	21	21
74	19	19	19	19	19	19	19	14	20	18	20	20	21	21
75	19	19	19	19	19	19	18	14	20	17	20	20	20	21
76	19	19	19	19	19	19	18	14	19	17	19	19	20	21
77	19	19	19	19	19	19	18	13	19	17	19	19	20	21
78	18	19	19	19	18	19	18	13	19	17	19	19	20	21
79	18	19	19	19	18	18	18	13	19	17	19	19	20	21
80	18	18	18	18	18	18	18	13	19	17	19	19	20	20
81	18	18	18	18	18	18	18	13	19	17	19	19	20	21
82	18	18	18	18	18	18	18	12	19	17	18	19	20	21
83	18	18	18	18	18	18	18	12	18	17	18	18	20	20
84	18	18	18	18	18	18	18	12	18	17	18	18	20	20
85	18	18	18	18	18	18	18	12	18	16	18	18	20	20
86	18	18	18	18	18	18	18	12	18	16	18	18	19	20
87	18	18	18	17	18	18	18	11	18	16	18	18	19	20
88	18	17	17	17	18	18	17	11	18	16	18	18	19	20
89	17	17	18	17	17	17	17	11	18	16	18	18	19	20
90	17	17	17	17	17	17	17	11	17	16	17	17	19	20
91	17	17	17	17	17	17	17	11	17	16	17	17	19	20
92	17	17	17	17	17	17	17	10	17	15	17	17	19	20
93	17	17	17	17	17	17	17	10	17	15	17	17	19	20
94	17	17	17	17	17	17	16	10	17	15	17	17	19	19
95	17	17	17	17	17	17	16	10	17	15	17	17	18	19
96	17	17	17	16	17	17	16	10	17	15	17	17	18	19
97	16	17	17	16	16	17	16	10	16	15	16	16	18	19
98	16	17	17	16	16	17	16	10	16	15	16	16	18	19
99	16	16	16	16	16	16	16	10	16	15	16	16	18	19
100	16	16	16	16	16	16	16	10	16	15	16	16	18	19
101	16	16	16	16	16	16	16	10	16	14	16	16	18	19
102	16	16	16	16	16	16	16	10	16	14	16	16	18	19

103	16	16	16	16	16	16	16	10	16	14	16	16	18	18
104	16	16	16	16	16	16	15	10	16	14	16	16	17	18
105	16	16	16	16	16	16	15	10	16	14	16	16	17	18
106	16	16	16	15	16	16	15	9	16	14	16	16	17	18
107	16	16	14	15	16	16	15	10	15	14	16	15	17	18
108	15	16	16	15	15	16	15	9	15	14	15	15	17	18
109	15	15	15	15	15	15	15	10	15	14	15	15	17	18
110	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	17	18
111	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	16	18
112	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	16	17
113	15	15	15	15	15	15	15	9	15	14	15	15	16	17
114	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
115	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
116	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
117	15	15	15	15	15	15	15	9	15	13	15	15	16	17
118	15	15	15	15	15	15	14	9	15	13	15	15	16	17
119	15	15	14	15	15	15	14	9	14	13	14	14	16	16
120	14	15	15	15	14	15	14	9	14	13	14	14	16	16
121	14	14	14	15	14	14	14	9	14	13	14	14	15	16
122	14	15	15	15	14	15	14	9	14	13	14	14	15	16
123	14	15	15	15	14	15	14	9	14	13	14	14	15	16
124	14	14	14	15	14	14	14	8	14	13	14	14	15	16
125	14	14	14	14	14	14	14	9	14	13	14	14	15	16
126	14	14	14	14	14	14	14	8	14	13	14	14	15	16
127	14	14	14	14	14	14	14	8	14	12	14	14	15	16
128	14	14	14	14	14	14	13	9	14	12	14	14	14	16
129	14	14	14	14	14	14	13	8	14	12	14	14	14	15
130	14	14	14	14	14	14	13	8	14	12	14	14	14	15
131	14	14	14	14	14	14	13	8	14	12	14	14	14	15
132	14	14	14	14	14	14	12	8	14	12	14	14	15	15
133	14	14	14	14	14	14	12	8	14	12	13	13	14	15
134	13	14	14	14	13	14	12	8	13	12	13	13	14	15
135	13	14	14	14	13	14	12	8	13	11	13	13	14	15
136	13	14	13	13	13	13	12	8	13	11	13	13	14	14
137	13	14	13	13	13	14	12	8	13	11	13	13	14	14
138	13	13	13	13	13	13	11	8	13	11	13	13	14	14
139	13	13	13	13	13	13	11	8	13	11	13	13	13	14
140	13	13	13	13	13	13	11	8	13	11	13	13	13	15
141	13	13	13	13	13	13	11	7	13	11	13	13	13	14
142	13	13	13	13	13	13	11	7	13	11	13	13	13	14
143	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14

144	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14
145	13	13	13	13	13	13	10	7	13	11	13	13	13	14
146	13	13	13	13	13	13	10	7	12	11	13	13	13	14
147	13	13	13	13	13	13	10	7	12	11	13	13	13	13
148	13	13	13	13	13	13	10	7	12	11	13	13	13	13
149	13	13	13	13	13	13	10	7	12	11	13	12	12	13
150	13	13	13	12	13	13	10	7	12	11	12	12	12	13
151	13	13	13	12	13	12	10	7	12	11	12	12	12	13
152	13	13	13	13	13	13	10	7	12	10	12	12	12	13
153	13	13	13	12	13	13	10	7	12	11	12	12	12	13
154	13	13	13	13	13	13	10	7	11	10	11	11	12	13
155	12	13	12	13	12	13	10	7	11	10	11	11	12	13
156	12	13	13	13	12	13	10	7	11	10	11	11	11	13
157	12	12	12	13	12	12	10	7	11	10	11	11	11	12
158	12	13	13	13	12	13	10	7	10	10	11	10	11	12
159	12	13	13	12	12	13	10	6	10	10	10	10	11	12
160	12	12	12	12	12	12	10	6	10	10	10	10	11	12
161	12	12	12	12	12	12	10	6	10	10	10	10	11	12
162	12	12	12	12	12	12	10	6	10	10	10	10	11	12
163	12	12	12	12	12	12	9	6	10	10	10	10	11	12
164	12	12	12	12	12	12	9	6	10	10	10	10	11	12
165	12	12	12	12	12	12	9	6	10	10	10	10	11	12
166	12	12	12	12	12	12	9	6	10	10	10	10	10	11
167	12	12	12	12	12	12	9	6	10	10	10	10	11	11
168	12	12	12	12	12	12	9	6	10	10	10	10	10	11
169	12	12	12	12	12	12	9	6	9	10	10	9	10	11
170	12	12	12	12	12	12	9	6	10	9	10	10	10	11
171	12	12	12	12	12	12	9	6	9	9	10	9	10	11
172	12	12	12	12	12	12	9	6	9	10	10	9	10	11
173	12	12	12	12	12	12	9	6	9	9	9	9	10	11
174	12	12	12	12	12	12	9	6	9	9	10	9	10	10
175	12	12	12	12	12	12	9	6	9	9	10	9	10	10
176	12	12	12	12	12	12	9	6	9	9	10	9	9	10
177	12	12	12	12	12	12	9	6	9	9	9	9	9	10
178	12	12	12	12	12	12	8	5	9	9	9	9	9	10
179	12	12	12	12	12	12	8	5	9	9	9	9	9	10
180	12	12	12	12	12	12	8	6	9	9	9	9	9	10
181	12	12	12	11	12	12	8	5	9	9	9	9	9	10
182	12	12	12	11	12	12	8	5	9	9	9	9	9	10
183	12	12	12	11	12	12	8	5	9	9	9	9	9	10
184	12	12	12	11	12	12	8	5	9	9	9	9	9	9

185	12	12	12	11	12	12	8	5	9	9	9	9	9	9
186	12	12	12	11	12	12	8	5	9	9	9	9	8	9
187	12	12	11	11	12	12	8	5	9	9	9	9	8	9
188	12	12	11	11	12	12	8	5	9	9	9	9	8	9
189	12	12	11	11	12	12	8	5	9	9	9	9	8	9
190	12	11	11	11	12	11	8	5	9	8	9	9	8	9
191	12	11	11	11	12	11	8	5	8	9	8	8	8	9
192	11	11	11	11	12	11	8	5	9	8	9	9	8	9
193	11	11	11	11	11	11	8	5	8	8	8	8	8	9
194	11	11	11	11	11	11	8	4	8	8	8	8	8	8
195	11	11	11	11	11	11	8	4	9	8	9	9	8	8
196	11	11	11	11	11	11	8	4	8	8	8	8	8	8
197	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
198	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
199	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
200	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
201	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
202	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
203	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
204	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	8	8
205	11	11	11	11	11	11	7	4	8	8	8	8	7	8
206	11	11	11	11	11	10	7	4	8	8	8	8	7	8
207	11	11	11	11	11	10	7	4	8	8	8	8	7	8
208	11	11	11	11	11	10	7	4	7	8	8	7	7	8
209	11	11	11	11	11	10	7	4	8	8	8	8	7	8
210	11	11	10	11	11	10	7	4	8	8	8	8	7	8
211	11	11	10	11	11	10	7	4	8	8	7	8	7	8
212	10	10	10	11	10	10	6	4	7	8	7	7	7	8
213	10	10	10	10	10	10	6	4	7	8	7	7	7	8
214	10	10	10	10	10	10	6	4	7	7	7	7	7	8
215	10	10	10	10	10	10	6	4	7	7	7	7	7	8
216	10	10	10	10	10	9	6	4	7	7	7	7	7	7
217	10	10	10	9	10	9	6	4	7	7	7	7	7	7
218	10	10	10	9	10	9	6	4	7	7	7	7	7	7
219	10	10	10	9	10	9	6	4	7	7	7	7	7	7
220	10	10	10	9	10	9	6	4	7	7	7	7	7	7
221	9	10	9	9	9	9	6	4	7	7	7	7	7	7
222	9	9	9	9	9	9	6	3	7	7	7	7	7	7
223	9	9	9	9	9	9	6	3	7	7	7	7	7	7
224	9	9	9	8	9	9	6	3	7	7	7	7	7	7
225	9	9	9	8	9	8	6	3	7	7	7	7	7	7

226	9	9	9	8	9	8	6	3	7	7	6	7	7	7
227	9	9	9	8	9	8	5	3	7	7	6	7	7	7
228	8	9	8	8	8	8	6	3	7	7	6	7	7	7
229	8	9	8	8	8	8	5	3	7	7	6	7	7	7
230	8	9	8	8	8	8	5	3	6	6	6	6	7	7
231	8	8	8	8	8	8	5	3	7	6	6	7	7	7
232	8	8	8	8	8	7	5	3	6	7	6	6	7	7
233	8	8	8	7	8	7	5	3	6	6	6	6	7	7
234	8	8	8	7	8	7	5	3	6	6	6	6	7	7
235	7	8	7	7	7	7	5	3	6	6	6	6	7	7
236	7	7	7	7	7	7	5	3	6	6	6	6	6	7
237	7	7	7	7	7	7	5	3	6	6	6	6	7	7
238	7	8	7	7	7	7	5	2	6	6	6	6	6	7
239	7	7	7	7	7	7	5	2	6	6	6	6	6	7
240	7	7	7	7	7	6	5	2	6	6	6	6	7	7
241	6	7	6	6	6	6	5	2	6	6	6	6	6	7
242	6	7	6	6	6	6	5	2	6	6	6	6	7	7
243	6	6	6	6	6	6	5	2	6	6	6	6	6	7
244	6	6	6	6	6	6	5	2	6	6	6	6	6	7
245	6	6	6	6	6	6	5	2	6	6	6	6	6	7
246	6	6	6	6	6	5	4	2	5	6	6	5	6	6
247	6	6	6	5	6	5	4	2	6	5	6	6	6	6
248	6	5	6	5	6	5	4	1	5	5	6	5	6	7
249	6	5	6	5	6	5	4	1	5	5	6	5	6	6
250	5	5	5	5	5	5	4	1	5	5	5	5	6	7
251	5	5	9	5	5	4	4	1	5	5	6	5	6	6
252	5	5	5	5	5	5	4	1	5	5	5	5	6	6
253	5	4	5	5	5	4	4	1	5	5	5	5	5	6
254	5	4	4	4	5	4	4	1	5	5	5	5	5	6
255	5	4	4	4	5	4	4	1	5	5	5	5	5	6
256	4	4	4	4	4	4	4	1	5	5	5	5	5	6
257	4	3	4	4	4	3	4	1	4	5	5	4	5	6
258	4	4	4	4	4	4	4	1	4	5	5	4	5	6
259	4	3	4	4	4	3	4	1	4	5	5	4	5	6
260	4	3	4	4	4	3	4	1	4	5	5	4	5	6
261	3	3	3	3	3	3	4	1	3	4	5	3	5	6
262	4	3	3	3	4	3	4	1	3	4	5	3	5	5
263	3	3	3	3	3	3	4	1	3	4	5	3	5	6
264	3	3	3	3	3	2	3	1	3	4	5	3	5	5
265	3	3	3	3	3	2	3	1	3	4	5	3	5	5
266	3	2	3	3	3	2	3	1	3	3	5	3	5	5

267	3	2	2	2	3	2	3	1	2	3	4	2	5	5
268	3	2	2	2	3	2	3	1	2	3	4	2	5	4
269	2	2	2	2	2	2	3	1	2	3	3	2	5	4
270	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	3	2	4	4
271	2	2	2	2	2	1	3	1	2	2	3	2	4	3
272	2	2	2	2	2	1	3	1	1	2	3	1	4	3
273	2	1	2	2	2	1	3	1	1	2	2	1	4	3
274	2	1	1	1	2	1	3	1	1	2	3	1	2	3
275	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3
276	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	3
277	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	2	0	1	2
278	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	0	2	2
279	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	2	0	1	2
280	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	2
281	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
282	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	2
283	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	2
284	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
285	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
286	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
287	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
288	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
289	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0
290	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
291	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	-1	0	0

REFERENCIAS

Adriana Aburto, **La licuefacción de los gases hacia las bajas temperaturas**, [en línea], México, Facultad de Ciencias, UNAM, Abril 2006, [citado septiembre 2013], Formato PDF, Disponibilidad en internet: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no82/CNS000008206.pdf>

Revista digital universitaria, **Precios de electricidad, subsidios al sector eléctrico mexicano y capacidad de generación**, [en línea], México, Revista UNAM, Mayo 2009, [citado septiembre 2013], Vol. 10 No. 5, Formato html, Disponibilidad en internet: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num5/art29/int29-2.htm>, ISSN: 1607-6079

Ximena Fernández Martínez, Juan Ignacio Navarrete Barbosa, **Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026**, [en línea], México, Secretaria de Energía, 2012, [citado Septiembre 2013], Formato PDF; Disponibilidad en internet: http://www.aiest.unam.mx/biblio/PSE_2012_2026.pdf

Georgina Kessel Martínez, Carlos Petersen y vom Bauer, **Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025**, [en línea], México, Secretaria de Energía, 2012, [citado Septiembre 2013], Formato PDF, Disponibilidad en internet: http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf

DOSSAT, Roy J., **Principios de refrigeración**. CECSA. 1991. pp. 227, 273, 293, 315, 349, 365, 401 y 475., 2000.

Termodinámica. / Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A..7a ed. -- México: McGraw-Hill, 2002. xxix, 827

Luis Miranda, **Antecedentes Históricos de la Refrigeración**, Barcelona Marcombo, 2008, [citado Agosto 2013], Formato PDF, Disponibilidad en internet: http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf