

00149



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

POSGRADO EN INGENIERÍA

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE
REFRIGERADORES DOMESTICOS DENTRO DE
UN LABORATORIO DE AMBIENTE CONTROLADO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

P R E S E N T A :

ING. FERNANDO GABRIEL ARROYO CABAÑAS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JAVIER EDUARDO AGUILLON MARTINEZ



MÉXICO, D. F.,

ABRIL DEL 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Índice

1. Introducción.	1
2. Estudio del parque de refrigeradores domésticos en México.	5
2.1. Introducción.	5
2.2. Metodología.	5
2.3. Producción nacional de refrigeradores domésticos.	7
2.4. Modelos de refrigeradores en el mercado de México.	8
2.5. Parque de refrigeradores a nivel nacional.	12
2.6. Relación de refrigeradores domésticos con el número de habitantes.	16
2.7. Relación de refrigeradores domésticos con el número de viviendas electrificadas.	19
2.8. Antigüedad y ventas de refrigeradores domésticos.	22
2.9. Distribución del parque de refrigeradores domésticos en función de la eficiencia.	27
2.10. Modelos de refrigeradores de mayor uso a nivel nacional.	30
2.11. Resumen.	33
3. Evaluación del consumo de energía eléctrica por refrigeración doméstica y el potencial de ahorro.	35
3.1. Introducción	35
3.2. Determinación de los consumos de energía eléctrica por modelo de refrigerador.	35
3.3. Consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos.	38
3.4. Potencial de ahorro de energía eléctrica por sustitución de refrigeradores y propuesta gubernamental.	40
3.5. Resumen.	42
4. Descripción y Puesta en Marcha del Laboratorio de Ambiente Controlado.	43
4.1. Introducción.	43
4.2. Descripción del LAC.	43
4.2.1. Cámara fría y de confort.	45
4.2.2. Cámara caliente y ambiental.	45
4.2.3. Muro móvil.	46
4.2.4. Cuarto de control.	47
4.2.5. Instrumentación y control.	48
4.2.6. Instrumentación del laboratorio.	48
4.3. Puesta en marcha del Laboratorio de Ambiente Controlado.	50
4.4. Pruebas de estabilidad de la cámara fría.	51
4.5. Variación de temperatura en la cámara fría.	55
4.6. Resumen.	57

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA**

5. Descripción de pruebas experimentales de los refrigeradores domésticos.	59
5.1 Introducción.	59
5.2. Descripción el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	59
5.3. Metodología para la realización de las pruebas.	62
5.3.1. Aspectos generales.	62
5.3.2. Objetivo de la Norma.	64
5.3.3. Alcance.	64
5.3.4. Campo de aplicación.	64
5.3.5. Definiciones.	64
5.3.6. Clasificación de los refrigeradores.	64
5.4. Requisitos para las pruebas.	65
5.4.1. Plataforma.	65
5.4.2. Sensores dentro de los compartimientos.	65
5.4.3. Paquetes de relleno y su ubicación.	66
5.5. Secuencia de pruebas.	67
5.6. Métodos de prueba para refrigeradores convencionales con deshielo semiautomático. Procedimiento 2B.	68
5.6.1. Condiciones del cuarto de prueba.	68
5.6.2. Preparación del aparato a probar.	68
5.6.3. Secuencia y Tiempo de Prueba.	73
5.6.4. Calculo del consumo de energía.	75
5.6.5. Criterios de Aceptación.	78
5.7. Resumen.	79
6. Resultados de las pruebas aplicadas a los refrigeradores domésticos.	81
6.1. Introducción.	81
6.2. Resultados de las pruebas aplicadas a los refrigeradores domésticos.	82
6.3. Condiciones del cuarto de prueba.	84
6.4. Cálculo del consumo de energía.	84
6.5. Límite de consumo de energía máximo.	85
6.6. Análisis de resultados.	99
6.6.1. Refrigeradores que no aprobaron los requisitos de la Norma Oficial.	99
6.6.2. Refrigerador que aprobó los requisitos de la Norma Oficial.	101
6.7. Resumen.	103
7. Conclusiones.	105
8. Bibliografía.	108
9. Anexo.	110

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ARROYO CABAÑAS

FERNANDO GABRIEL

FECHA: 23/04/04

FIRMA: 

Índice de Figuras y Tablas.

2. Estudio del parque de refrigeradores domésticos en México.

Figura 2.1. Producción anual de refrigeradores domésticos.	7
Figura 2.2. Producción e importaciones anuales de refrigeradores por fabricante.	8
Tabla 2.1. Características de los distintos modelos de refrigeradores que se comercializan en México.	10
Tabla 2.2. Total de refrigeradores domésticos. Por Estado y total Nacional.	13
Figura 2.3. Total de refrigeradores a nivel Nacional.	14
Figura 2.4. Total de refrigeradores por Estado en el año 2001.	15
Tabla 2.3. Número de personas por refrigerador.	17
Figura 2.5. Número de personas por refrigerador en el año 2001.	18
Tabla 2.4. Número de hogares, porcentaje de electrificación y refrigeradores por hogar en México. Valores por Estado y total Nacional en el año 2001.	20
Figura 2.6. Relación de refrigeradores por vivienda electrificada en el año 2001.	21
Tabla 2.5. Ventas de refrigeradores de alta eficiencia a nivel Nacional y por Estado de la República.	22
Figura 2.7. Comparación entre el total del parque de refrigeradores y los refrigeradores vendidos.	23
Tabla 2.6. Antigüedad estimada de los refrigeradores, por Estado de la República y a nivel nacional en el año 2001.	24
Tabla 2.7. Refrigeradores de alta eficiencia vendidos por empresa.	25
Figura 2.8. Ventas de refrigeradores eficientes por fabricante.	26
Tabla 2.8. Distribución de los refrigeradores domésticos en función a su eficiencia.	28
Figura 2.9. Distribución del parque de refrigeradores domésticos en función de su eficiencia.	29
Tabla 2.9. Modelos de refrigeradores de mayor venta.	30

3. Evaluación del consumo de energía eléctrica por refrigeración doméstica y el potencial de ahorro.

Tabla 3.1. Porcentaje de ventas y consumo anual promedio de refrigeradores domésticos en el año 2001.	36
Figura 3.1. Porcentaje de ventas de refrigeradores domésticos en el año 2001.	37
Tabla 3.2. Consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos en México; datos por Estado y totales Nacionales.	39
Tabla 3.3. Estimación del potencial de ahorro de energía eléctrica por sustitución de refrigeradores en México.	41

4. Descripción y Puesta en Marcha del Laboratorio de Ambiente Controlado.

Figura 4.1. Distribución de las cámaras dentro del LAC.	44
Figura 4.2. Detalles de la cámara fría.	45
Figura 4.3. Detalles de la cámara caliente.	46
Figura 4.4. Muro móvil.	47
Figura 4.5. Detalles del cuarto de control.	47
Figura 4.6. Estabilidad de temperaturas de la cámara fría.	53

Figura 4.7. Estabilidad de temperaturas de la cámara fría.	53
Figura 4.8. Estabilidad de humedad de la cámara fría.	54
Figura 4.9. Estabilidad de humedad de la cámara fría.	54
Figura 4.10. Estabilidad de temperatura de la cámara fría (20/08/03).	56
Figura 4.11. Estabilidad de temperatura de la cámara fría (21/08/03).	56
Figura 4.12. Estabilidad de temperatura de la cámara fría (22/08/03).	57

5. Descripción de pruebas experimentales de los refrigeradores domésticos.

Figura 5.1. Diagrama esquemático para el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	60
Figura 5.2. Refrigerador doméstico común.	61
Diagrama 1. Metodología empleada para la determinación de temperaturas.	63
Tabla 5.1. Temperatura de referencia normalizada.	67
Figura 5.3. Colocación del refrigerador a probar dentro del laboratorio.	69
Figura 5.4. Colocación de los sensores de temperatura en refrigeradores convencionales.	71
Figura 5.5. Colocación del anemómetro en el refrigerador de prueba.	71
Figura 5.6. Colocación del sensor de temperatura ambiente dentro de la cámara fría.	72
Figura 5.7. Ejemplo de la distribución de la información de la etiqueta de refrigeradores y congeladores electrodomésticos.	79

6. Resultados experimentales.

Tabla 6.1. Características de los refrigeradores.	82
Tabla 6.2. Temperaturas reportadas de la primera prueba.	83
Tabla 6.3. Temperaturas de referencia Normalizada.	83
Tabla 6.4. Temperaturas reportadas de la segunda prueba.	84
Tabla 6.5. Consumo de energía de los refrigeradores probados.	85
Tabla 6.6. Volumen ajustado de los refrigeradores probados.	85
Tabla 6.7. Límite de consumo de energía de los refrigeradores probados.	85
Tabla 6.8. Determinación del exceso o ahorro de energía en los refrigeradores.	86
Figura 6.1. Refrigerador de 9 pies cúbicos Marca: ACROS.	87
Figura 6.2. Refrigerador de 14 pies cúbicos Marca: BENDIX.	90
Figura 6.3. Refrigerador de 7 pies cúbicos Marca: MABE.	93
Figura 6.4. Refrigerador de 21 pies cúbicos Marca: WHIRLPOOL.	96

Objetivo general.

Presentar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de pruebas experimentales aplicadas a refrigeradores domésticos, de acuerdo con la Norma Oficial, con los valores teóricos reportados por los fabricantes; y así estimar el posible ahorro de energía que existiría si el parque de refrigeradores se sustituye por modelos de mayor eficiencia energética.

Objetivos particulares.

- Caracterización del Laboratorio de Ambiente Controlado: pruebas preliminares de estabilidad térmica y pérdidas de calor.
- Establecer los puntos relevantes para el análisis energético experimental en refrigeradores y congeladores domésticos conforme a la norma NOM-015-2002.
- Proponer un protocolo de prueba para refrigeradores y congeladores domésticos a aplicar en el LAC, con base en la norma NOM-015-2002.
- Validar el protocolo propuesto mediante la realización de las pruebas experimentales necesarias y los cálculos requeridos.
- Estudiar el parque de refrigeradores domésticos empleados en México (marcas, eficiencia y consumo eléctrico).
- Evaluar el consumo de energía eléctrica en refrigeradores domésticos a nivel nacional.

**“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS
DENTRO DE UN LABORATORIO DE AMBIENTE CONTROLADO”**

1. Introducción.

El incremento constante en los costos de los energéticos en el ámbito mundial ha originado que se tomen acciones principalmente teórico-prácticas para balancear los costos de producción en industrias y llevar a cabo la optimización de los consumos energéticos a escala residencial. En estudios anteriores, se han detectado una cantidad muy grande de oportunidades de ahorro de energía en sistemas de refrigeración¹, tanto del tipo industrial como residencial, las cuales pueden aplicarse satisfactoriamente.

Enfocándose básicamente al ahorro de energía en la refrigeración dedicada a la conservación de alimentos y otros productos perecederos, se encontró que representa actualmente más del 85% de la energía dedicada a la producción de frío². En ciertos procesos industriales y residenciales, tales como la conservación de frutas, verduras o productos del mar, la refrigeración juega un papel muy importante puesto que generalmente el buen funcionamiento de estos equipos condiciona la continuidad de un proceso productivo para la industria y la conservación de productos perecederos en los hogares; además representa, para ambos, reducir los consumos de electricidad.

Dentro de la refrigeración doméstica, existe la necesidad de contar con un compartimiento congelador capaz de satisfacer las necesidades de enfriamiento que se requieren y con los menores consumos de electricidad. La temperatura a la cual debe mantenerse dicho compartimiento de alimentos es de 1 a 5°C, desafortunadamente, todavía la mayoría de los usuarios no cuentan con refrigeradores que controlen automáticamente dicha temperatura; por lo que ajustan manualmente sus refrigeradores a la que ellos consideran es la temperatura adecuada.

La mayor parte del parque de refrigeradores domésticos en México utiliza el ciclo de refrigeración por compresión. El motor eléctrico acoplado al compresor es el principal consumidor de energía en este tipo de refrigeradores. La frecuencia con la que opera depende de la señal que envía un termostato. Conforme la temperatura interna aumenta, más allá de cierto límite definido por el control regularmente manual, el compresor avanza y para en cuánto alcanza la temperatura de consigna.

El consumo de energía depende de la rapidez con la que el ciclo de refrigeración puede bajar la temperatura del interior del refrigerador (absorber el calor de los alimentos), y de la capacidad del gabinete para oponerse al flujo de calor a través de sus paredes; de esta forma, entre mejor sea el aislante, menor será el consumo de energía,

¹ Romero Paredes Hernando 1989. “Uso eficiente de la energía en refrigeración” Programa Universitario de Energía. Facultad de Ingeniería. UNAM.

² Pilatowsky Figueroa, Isaac. 1998. “La Cadena del Frío en México”. Revista Industria Alimentaria, Vol. 20. No. 3. Mayo-Junio Pág. 32-36.

para una misma temperatura ambiente. Este consumo depende también del volumen interior y de la temperatura a la que quiere enfriarse; por lo tanto, para comparar la operación de refrigeradores debe establecerse un índice que contemple los parámetros inherentes al diseño del refrigerador: volumen y temperaturas interiores del congelador y del compartimiento de comida fresca³.

En México, el consumo final de energía total reportado en el balance de energía del año 2000 es igual a 4,038.6 PJ. Este consumo se divide en un 40% para el transporte, 30.6% para la industria, un 20.7% en residencial, comercial y público, 5.9% para uso no energético y 2.8% en agropecuario. La cifra residencial, comercial y pública se divide en 84.5% en consumo residencial, 13% para el comercial y 2.5% en la parte pública⁴. El gasto familiar representa entre 6.7 y 9.8% de los ingresos, en función del clima y del estrato social de que se trata⁵. En el campo de la energía eléctrica, los usuarios del sector doméstico representan el 88.1% de los contratos y el 23.3% de los ingresos per capita⁶ totales.

La mayoría de los hogares mexicanos que tienen electricidad, cuentan con refrigerador de uso interno, el cual mediante un estudio de campo en la ciudad de México se demostró que consume entre 30 y 40% de la electricidad empleada para uso doméstico⁷. Además de que la refrigeración doméstica es responsable de poco más del 29% del consumo de electricidad en los hogares asentados en clima templado y del 14 % en los de clima cálido en donde se usa aire acondicionado. Esta situación origina problemas graves y complejos para las familias mexicanas, al grado que es necesario subsidiar ampliamente las tarifas eléctricas domésticas. El subsidio federal a estas tarifas representa el 70% del costo real, lo que trae como consecuencia que la tasa de crecimiento de la demanda de electricidad se manifieste por encima de las del PIB del país⁸.

Debido a dicha problemática, desde 1997 se han implementado normas oficiales mexicanas de eficiencia energética de refrigeradores domésticos. En el año 2003 entró en vigor la norma NOM-015-ENER-2002 que hace que los refrigeradores que se comercializan actualmente en el país sean 30% más eficientes que los vendidos anteriormente. No obstante, la tasa de reemplazo es lenta y el cambio del parque actual

³ Sterling, J. E. 1977. "Energy factor: A measure of the efficiency of a household refrigerator, ASHRAE, Volt 83, Part I, pp.829-836.

⁴ Balance Nacional de Energía 2000. Secretaria de Energía.

⁵ Rodríguez Elizarraraz, Gustavo. 1991. "Análisis de la relación ingreso familiar-gasto frente al consumo energético familiar". 1^{era} Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano. UNAM. p 107-112.

⁶ Programa Sectorial de Energía 2001-2006. México, p.47.

⁷ Campero, Eduardo.1991. "Impacto de los refrigeradores domésticos en el consumo de energía en el sector residencial". 1era Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano. UNAM. p. 151-156.

⁸ SENER. Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011. Secretaria de Energía, México D.F. Diciembre de 2002.

de más de 16 millones de refrigeradores, llevará muchos años al ritmo de ventas vigente de aproximadamente 1.5 millones de refrigeradores al año.

Debido a estos indicadores, el motivo del presente trabajo de investigación es evaluar el potencial de ahorro de energía que existe en el parque de refrigeradores domésticos del país; al sustituirlos por refrigeradores de mayor eficiencia energética. En este estudio se ha evaluado la composición del parque actual de refrigeradores domésticos en el país y por Estado, para, posteriormente, realizar una estimación del consumo actual de energía eléctrica y la evaluación del potencial de ahorro de energía eléctrica mediante la sustitución de refrigeradores antiguos de baja eficiencia por modernos de alta eficiencia. Este potencial es muy amplio, ya que el reemplazo de los modelos viejos por nuevos sigue una curva muy lenta, si se consideran las dificultades económicas de las familias mexicanas y que, por otro lado, la tecnología de los refrigeradores domésticos es tan confiable que tienen una vida muy larga y no se desechan fácilmente.

Para integrar la composición del parque de refrigeradores domésticos se recurrió a información estadística de censos de población, ventas, fabricación nacional e importaciones. Los datos se presentan desglosados para cada uno de los Estados del país y el total nacional. Se establecen cuáles son los Estados con mayor participación nacional, mismos que serían los primeros en la aplicación de una política de reemplazo acelerado. Para la primera aproximación de la evaluación de la energía eléctrica empleada hoy en día por este concepto, se consideró el consumo de los refrigeradores actuales conforme la norma señalada; que los refrigeradores que se vendieron entre 1995 y el 2000 consumen 30% más para el mismo tamaño, y que los comercializados antes de 1995 presentan un consumo 60% superior al de la norma vigente.

Parte de la sustentación de las suposiciones del consumo de energía antes mencionadas que presentan los refrigeradores viejos, se llevó a cabo a través de la caracterización, puesta en marcha y pruebas preliminares del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC); y su aplicación a refrigeradores de uso doméstico. Las pruebas se basaran en la Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002, "Eficiencia Energética de Refrigeradores y Congeladores Electrodomésticos. Límites, Métodos de Prueba y Etiquetado"⁹; con la finalidad de obtener los consumos experimentales de energía de distintos modelos de refrigeradores domésticos, determinar su relación de eficiencia energética; y saber cual es el consumo de energía para los refrigeradores con mayor antigüedad. Cabe señalar que estas pruebas no pretenden tener una base estadística para obtener los consumos o ahorros de energía eléctrica del conjunto actual de refrigeradores; la finalidad de estas pruebas fue la puesta en marcha del LAC, y observar si las hipótesis presentadas dentro del estudio relacionadas con el consumo de energía eléctrica por el concepto de refrigeración, son conservadoras o muy exageradas.

⁹ Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002. Diario Oficial.

Para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo, el cual presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos de pruebas experimentales aplicadas a refrigeradores domésticos, de acuerdo con la Norma Oficial NOM-015-2002, con los valores teóricos reportados por los fabricantes; para así poder estimar el posible ahorro de energía que existiría si el parque de refrigeradores se sustituye por modelos de mayor eficiencia energética; se desarrolló la siguiente metodología:

Primeramente se estudiará el parque de refrigeradores domésticos empleados en México (marcas, eficiencia y consumo eléctrico); con el objetivo de evaluar el consumo de energía eléctrica en los refrigeradores a nivel nacional. Ya con el consumo determinado, se siguiente punto será la propuesta de un programa gubernamental para la sustitución acelerada del parque de refrigeradores domésticos de mayor antigüedad, por modelos de mayor eficiencia energética.

Acto seguido, se realizará la caracterización del Laboratorio de Ambiente Controlado (pruebas preliminares de estabilidad térmica y pérdidas de calor), con la finalidad de obtener las condiciones térmicas marcadas por la Norma NOM-015-2002 para el desarrollo de pruebas aplicadas a refrigeradores. Así mismo se establecerán los puntos relevantes para el análisis energético experimental en refrigeradores domésticos conforme a la norma NOM-015-2002.

Por último, se propondrá un protocolo de pruebas para refrigeradores domésticos aplicado en el LAC con base en la norma NOM-015-2002, y se llevará a cabo la validación de éste mediante la realización de las pruebas experimentales necesarias y los cálculos requeridos. Finalmente se presentarán los resultados obtenidos de las pruebas de eficiencia energética aplicadas a diferentes modelos de refrigeradores domésticos, así como las conclusiones que se derivaron de este trabajo de investigación.

2. Estudio del parque de refrigeradores domésticos en México.

2.1. Introducción.

Después de una caída en la demanda interna de productos electrodomésticos en 1995, la industria de aparatos electrodomésticos se vino recuperando de manera importante hacia los años de 1996 y 1997, en donde prácticamente todas las categorías de productos para el hogar alcanzaron niveles importantes. En los años de 1998, 1999 y 2000 es cuando existe un mayor apogeo en la demanda de electrodomésticos y de forma significativa en lo que respecta a los refrigeradores. Sin embargo, los actos terroristas del 11 de septiembre del 2001 ocasionaron una leve incertidumbre a nivel mundial, produciendo que el crecimiento en la producción de electrodomésticos que se venía manejando en años anteriores, disminuyera en un 6.8%¹⁰, repercutiendo en el desarrollo de la economía nacional.

Por todo lo anterior, es de importancia para este trabajo de investigación determinar los valores que se manejan en la producción, las exportaciones y las importaciones de los refrigeradores domésticos, así como saber los modelos de mayor venta y distribución doméstica en México. Todos los datos presentados en este capítulo serán la base para evaluar el consumo de energía eléctrica que existe en la Republica Mexicana por el concepto de refrigeración y con ello plantear el posible potencial de ahorro de energía si se considera llevar a cabo una sustitución del parque de refrigeradores domésticos que existe actualmente, por modelos de mayor eficiencia energética.

2.2. Metodología

Para determinar la composición del parque de refrigeradores domésticos, el consumo de energía que representan y el potencial de ahorro de energía que existe si se sustituyeran los modelos viejos por refrigeradores nuevos de alta eficiencia, se empleará una metodología para establecer teóricamente los consumos y la distribución de acuerdo con la edad, marca y capacidad de almacenamiento de los refrigeradores que actualmente se comercializan en el país.

El primer paso seguido en la metodología fue la estimación del parque de refrigeradores en México, primeramente se obtuvo el número de refrigeradores existentes en los hogares de cada uno de los 32 estados del país en el año 2000 del Censo de Población y Vivienda. Con el fin de tener datos actualizados, a estos valores se les sumaron los datos de los refrigeradores vendidos en el año 2001, proporcionados por la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos.

¹⁰ ANFAD (2001a), Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos. Memoria estadística de aparatos electrodomésticos 2001.

Con la estimación del parque de refrigeradores, el siguiente paso fue determinar su antigüedad, ya que los modernos presentan una mayor eficiencia energética. Esto se hizo a partir de la información del número de refrigeradores por Estado del Censo de Población y Vivienda del año 2000 y los datos de ventas proporcionados por ANFAD para los años 1999, 2000 y 2001, se calculó el número de refrigeradores existentes en esos tres años en cada Estado del país. Para poder estimar el parque en años anteriores, se recurrió a estadísticas de ANFAD, quienes reportan que el 57% del total de refrigeradores tienen de 1 a 10 años de antigüedad; 28%, de 11 a 20 años y 15%, más de 21 años. Cabe destacar que en trabajos previos de campo¹¹ se detectaron refrigeradores de 30 y aún 40 años de edad operando en los hogares mexicanos. Con esta información se obtuvieron los valores numéricos de refrigeradores por diferentes nichos de edad, para cada Estado del país y el total nacional.

Para conocer el ritmo de sustitución de los refrigeradores viejos, por modernos de alta eficiencia, es necesario el dato de la producción de refrigeradores en México, la cual ha presentado un aumento importante en los últimos años debido al incremento del número de familias y a la necesidad de conservar adecuadamente los alimentos. De acuerdo con la ANFAD, los mayores productores y distribuidores de refrigeradores domésticos en México son Mabe México, Industrias Acros Whirlpool y Daewoo México, mientras que las importaciones fueron realizadas por las compañías coreanas Samsung Electronics México y LG Electronics México.

El siguiente paso metodológico fue la determinación de los modelos de refrigeradores domésticos existentes en el mercado mexicano, con la finalidad de poder estimar los consumos de energía en función de los modelos y capacidades. De acuerdo con los informes de la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) y la relación de productos certificados por la Asociación de Normalización y Certificación (ANCE), los modelos de mayor venta en México son los de capacidades comprendidas en el intervalo de 184.06 a 466.95 litros (8 a 16 pies cúbicos).

Finalmente, una vez establecidos los datos de los modelos de mayor venta, antigüedad de parque, así como totales a nivel nacional y por cada Estado, se puede prever el consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos en México. Para realizar la estimación del consumo actual nacional de energía eléctrica debida al uso de refrigeradores en los hogares mexicanos se partió de la distribución por edades y tamaños descrita previamente. Posteriormente, para los modelos del año 2001 se emplearon los consumos promedio de energía eléctrica proporcionados por el fabricante¹². Para estimar el consumo de electricidad de los modelos anteriores se emplearon los supuestos de eficiencia de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), basados en información del Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE) y así, a los modelos de refrigeradores vendidos entre 1995 y 2000, se les asignó un consumo de

¹¹ Op. Cit. Campero (1991).

¹² PROFECO (1999), Revista del Consumidor No. 279, Mayo 1999. Calidad de Refrigeradores. México D.F. Mayo de 1999.

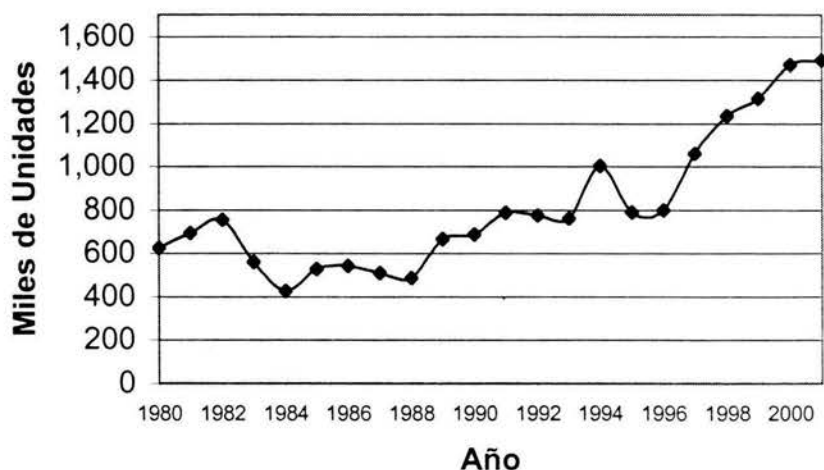
energía 30% superior al de los refrigeradores comercializados actualmente y a los modelos comprendidos entre los años 1994 y anteriores fue 60% mayor el consumo.

Con la evaluación del consumo de energía eléctrica por refrigeración doméstica, es posible estimar el potencial de ahorro de energía si se sustituyen los refrigeradores de acuerdo con el ritmo de ventas que presentan los fabricantes, y también existe la posibilidad de proponer un programa de sustitución acelerada de refrigeradores

2.3. Producción nacional de refrigeradores domésticos.

La producción de refrigeradores en México ha presentado un aumento importante con el transcurso de los años (Figura 2.1), esto es debido principalmente al incremento en el número de familias y la necesidad de preservar un mayor tiempo posible los alimentos. De acuerdo con la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos A.C., los mayores productores y distribuidores de refrigeradores domésticos son: Industrias Acros Whirlpool (antes Supermatic) y Mabe México.

Figura 2.1. Producción anual de refrigeradores domésticos.



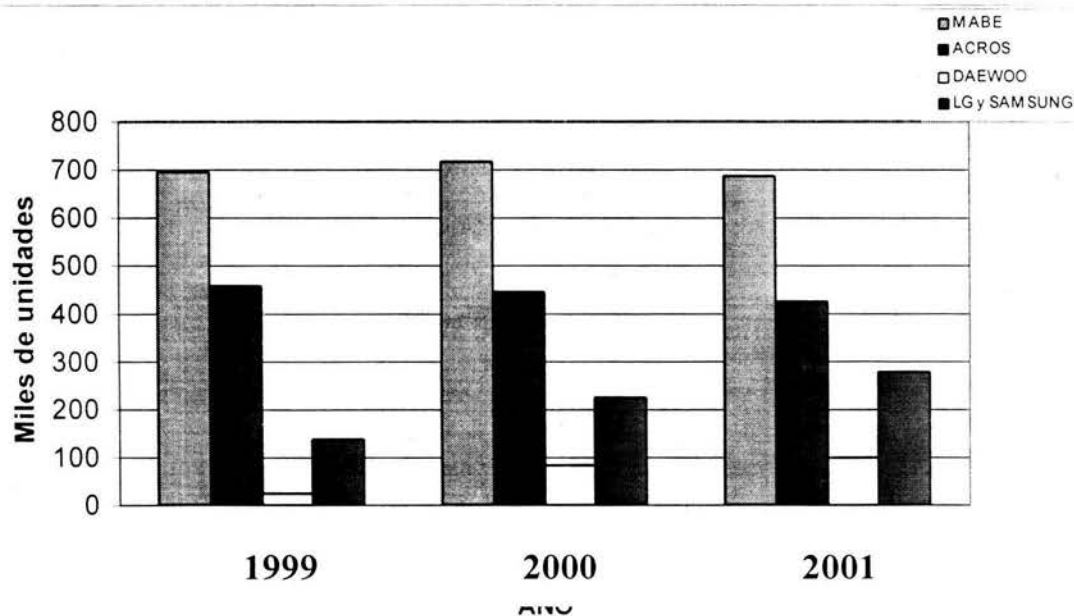
(Fuente: ANFAD).

Ambas empresas en el periodo comprendido de enero a diciembre de 1999, representaron en forma conjunta el 89.6% de la producción nacional. Mabe es la mayor productora de refrigeradores con 52.9%, mientras que Acros aporta 34.7%. La compañía Daewoo México contribuyó con un 2%, el cual para ese año no representó un gran impacto en la producción nacional. El restante 10.4% corresponde a la importación de las compañías Coreanas Samsung Electronics México y LG Electronics México.

A finales del año 2000, los niveles de importación de refrigeradores domésticos aumentaron de forma importante hasta un 15.3%, dejando a la producción nacional en un 84.7%, de los cuales el 5.6% corresponde a Daewoo, el 30.4% para Acros y el restante 48.7% para Mabe (Figura 2.2.). El aumento en el número de importaciones se produjo por la apertura del libre mercado con Japón y Corea y por la eliminación de los aranceles para los productos de importación de esos países.

Al analizar la producción nacional de refrigeradores, calculada por la suma de la producción nacional, más las importaciones, menos las exportaciones, se observó un incremento de 11% en 1998 con respecto a 1997, y de 26% en 1999, con respecto al mismo periodo anterior, lo cual indica un incremento de 40% con relación a 1997. Este incremento del mercado mexicano de refrigeradores fue absorbido por las importaciones de refrigeradores coreanos, ya que de ser nulo en 1998 pasó a tener una participación de 15% en el periodo de 1999; mientras que la industria nacional disminuyó su participación en 16 puntos porcentuales en 1999 con respecto a 1998, año en el que no se identificaron importaciones de refrigeradores domésticos.

Figura 2.2. Producción e importaciones anuales de refrigeradores por fabricante.



(Fuente: Elaboración propia con datos de ANFAD)

2.4. Modelos de refrigeradores en el mercado de México.

El nombre genérico del refrigerador de fabricación nacional y de importación se conoce como refrigerador congelador con sistema de deshielo manual, semiautomático o

automático y es comercializado con las siguientes denominaciones técnicas: refrigerador para uso doméstico, refrigerador sin escarcha, refrigerador "no-frost" y nevera.

Los refrigeradores que fabrican Mabe México, S. de R.L. de C.V., e Industrias Acros Whirlpool, S.A. de C.V., se comercializan con las marcas Mabe, Kelvinator, GE, IEM, Hotpoint y Kenmore para la industria Mabe y Acros; Whirlpool, Philips, Blue Point, Singer, Tropigas y Supermatic. También existe en el mercado la marca Daewoo de la compañía Daewoo S.A. de C.V. Para los refrigeradores importados las marcas comerciales que se manejan son LG y Samsung, y así como también en una mínima escala la marca Maytag, Admiral, Magic Chef y Frigidaire importados de los Estados Unidos, los cuales no representan un porcentaje significativo. Las características del refrigerador nacional e importado son semejantes y se describen como refrigeradores de 1 y 2 puertas, verticales, con sistema de deshielo manual, semiautomático o automático, gas libre de clorofluorocarbonos y corriente de alimentación de $115\sim 127V \pm 10\%$ con una frecuencia de 60Hz.

Para llevar a cabo la clasificación de los modelos de mayor venta en México es necesario describir primeramente que los refrigeradores se dividen de acuerdo con su capacidad. Las capacidades de los refrigeradores comúnmente se miden en términos de volumen y las medidas pueden ser litros, decímetros cúbicos (dm^3) y pies cúbicos (ft^3). La capacidad bruta de un refrigerador se obtiene al medir el interior del refrigerador e incluir el área del congelador y las áreas de los compartimentos de las puertas; al descontar los bordes, protuberancias internas y realces internos, entre otros, se obtiene la capacidad neta del mismo. En general, el cálculo de las capacidades de refrigeradores se divide en dos:

- Capacidad nominal: se mide de acuerdo con las normas mexicanas (NOM) y se utiliza para el cálculo de eficiencia energética. La unidad de medida es dm^3 y se refiere a la cantidad de agua que cabe dentro del gabinete del refrigerador (cavidad de enfriador y congelador).
- Capacidad comercial: típicamente en México se refiere a la conversión de litros o dm^3 a ft^3 .

La medida de capacidad más utilizada a escala comercial es la de pies cúbicos, la cual se muestra en términos netos en los catálogos publicitarios de los productores nacionales de refrigeradores.

Los modelos de refrigeradores que para analizar en este trabajo son aquellos que tengan, además de las características esenciales (sistema de deshielo manual, semiautomático o automático y 1 ó 2 puertas), cualquier capacidad comprendida dentro del intervalo de 8 a 16 pies cúbicos o de 184.06 a 466.95 litros de capacidad neta. Lo anterior se hizo conforme a los estudios realizados por la PROFECO¹³ y la lista de

¹³ Op. Cit. PROFECO, Mayo 1999.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

productos certificados por la ANCE¹⁴ en virtud de que son los más comerciales dentro del mercado nacional (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Características de los distintos modelos de refrigeradores que se comercializan en México.

Refrigeradores de 8 pies cúbicos						
Marca	LG	Acros	Mabe	General Electric	Supermatic	Daewoo
Modelo	GR-282 SVF	ARMO 8NP	RMS20 WL	TBX08XBM	HSRO8 JP	DRM-284 E
Capacidad (dm ³)	230	226.6	218	229	219.5	215.32
Dimensiones (cm)	54 x 155.3 x 60.7	58.5 x 124 x 56	51 x 130 x 58	ND	50.4 x 134.6 x 46.5	ND
País de origen	Corea	México	México	México	México	México

Refrigeradores de 9 pies cúbicos						
Marca	Mabe	Mabe	IEM	Acros	General Electric	Mabe
Modelo	RMT35 WL	RMT25 W	R109LM	ARTO 9N	TBX09XBM	RMS30 WL
Capacidad (dm ³)	245.2	229	254.47	245.22	245.22	243.52
Dimensiones (cm)	ND	ND	ND	58.4 x 159.4 x 63.9	ND	ND
País de origen	México	México	México	México	México	México

Refrigeradores de 10 pies cúbicos						
Marca	LG.	Samsung	Daewoo	Acros	IEM	Mabe
Modelo	GR-336SVF	SR-34R MB	DRM384 E	ARM10NP	R110LM	RMSIOLM
Capacidad (dm ³)	282.21	272.81	292.6	276.32	282.79	271.84
Dimensiones (cm)	61 x 157.5 x 66.7	ND	ND	ND	ND	ND
País de origen	Corea	Corea	México	México	México	México

Refrigeradores de 11 pies cúbicos			
Marca	General Electric	Samsung	General Electric
Modelo	TBX 11YBM	SR-37RMB	TAX 11Y LM
Capacidad (dm ³)	322.81	308.79	312.66
País de origen	México	Corea	México

¹⁴ ANCE (1997), Listado de productos certificados. Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetados. Diario oficial, Enero 1997.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

Tabla 2.1. Características de los distintos modelos de refrigeradores que se comercializan en México (Continuación).

Refrigeradores de 12 pies cúbicos				
Marca	Whirlpool	Supermatic	Acros	Mabe
Modelo	WRT12 TGS	SRT12J GR	BARM 12NP	RMT35YB
Capacidad (dm³)	346.1	346.1	346.2	345.2
Dimensiones (cm)	60.9 x 163.8 x 72.4	60.9 x 160.3 x 61.4	60.3 x 168.6 x 61.2	ND
País de origen	México	México	México	México

Refrigeradores de 13 pies cúbicos			
Marca	LG	Acros	General Electric
Modelo	GR-T452 XV	ART12 NGS	TBX 13Z BM
Capacidad (dm³)	373	356.6	359.62
Dimensiones (cm)	68 x 172.5 x 68.7	60.9 x 160.3 x 61.4	ND
País de origen	Corea	México	México

Refrigeradores de 14 pies cúbicos				
Marca	Acros	Whirlpool	Supermatic	Mabe
Modelo	ART 14Z KS	WRT14 PKS	SRT 14J KX	RMQ75WB
Capacidad (dm³)	406.40	406.40	406.40	407.76
Dimensiones (cm)	71.1 x 160 x 78.3	71.1 x 160 x 78.3	70.99 x 159.7 x 78.3	ND
País de origen	México	México	México	México

Refrigeradores de 15 pies cúbicos					
Marca	Maytag Performa	General Electric	Daewoo	Admiral	LG
Modelo	PTB15 53 DRW	TBX 16ZZ BM	DRM542D	ATB1511 ARW	GR-T546GV
Capacidad (dm³)	438.1	441.74	400	420	420
País de origen	E.U.	México	México	E.U.	Corea

Refrigeradores de 17 pies cúbicos					
Marca	LG	Whirlpool	Maytag	Frigidaire	Acros
Modelo	GR-602 TV PF	WRT17PKS	PTB1753 DRW	FRT16NRGD	ART17 ZKS
Capacidad (dm³)	496.0	476.0	471.3	470.24	476.0
País de origen	Corea	México	México	E.U.	México

Marca	Admiral	Frigidaire	Acros	Admiral
Modelo	ATB1713ARA	FRT16NRGD	ART17 ZKS	ATB1713ARA
Capacidad (dm³)	471.28	470.24	476.0	471.28
País de origen	E.U.	E.U.	México	E.U.

Tabla 2.1. Características de los distintos modelos de refrigeradores que se comercializan en México (Continuación).

Refrigeradores de 18 pies cúbicos					
Marca	Samsung	LG	General Electric	Whirlpool	Maytag
Modelo	SR608 EV	GR16 DVQF	TBX 18JABWW	WRT 18PKS	PTV 1953 ARW
Capacidad (dm ³)	493.02	518	513.45	498.02	524.71
País de origen	Corea	Corea	México	México	E.U.

Refrigeradores de 20 pies cúbicos				
Marca	Samsung	Whirlpool	General Electric	Frigidaire
Modelo	SR-L678 EV	7ED20 TQXFW	TFM 20 JRBWN	FR 20QRWC
Capacidad (dm ³)	564.86	561	558.68	557.37
País de origen	Corea	México	México	E.U.

Refrigeradores de 21 pies cúbicos			
Marca	General Electric	Maytag	Magic Chef
Modelo	TFX 22PRB	MSB 2154 DRW	GS2114 PXdW
Capacidad (dm ³)	607.52	604	584.8
País de origen	E.U.	E.U.	E.U.

ND: No determinado.

(Fuente: Elaboración propia con datos de PROFECO).

2.5. Parque de refrigeradores a nivel nacional.

El estudio del parque de refrigeradores domésticos a nivel nacional es de suma importancia para el desarrollo de este trabajo. Se trata primeramente para saber el número aproximado de los refrigeradores que existen en cada Estado de la República Mexicana y a nivel nacional, lo cual servirá como base para calcular el valor del consumo de energía eléctrica por refrigeración doméstica de todo el país y desagregado por Estado.

Otro parámetro importante en este estudio es la antigüedad que presentan los refrigeradores domésticos a nivel nacional, porque, como ya se mencionó, los refrigeradores actualmente consumen menos energía que los que tienen más de 10 años de antigüedad, debido principalmente a que son más eficientes. Si se conoce la edad aproximada de los refrigeradores por cada Estado de la República Mexicana y a nivel nacional, es posible estimar cual sería el posible ahorro de energía eléctrica, si en la mayoría de los hogares se contara con un refrigerador moderno.

Es importante saber cuáles son las marcas de mayor uso a nivel nacional, debido a que en las pruebas de laboratorio que se realizarán a refrigeradores domésticos, se necesitará estar al tanto de los modelos y la capacidad de los refrigeradores más

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

comerciales que se deben probar. Con ello se tendrá un parámetro de comparación entre los datos de consumo de energía eléctrica proporcionados por el fabricante y los datos encontrados experimentalmente.

Como primera etapa, se obtuvo el número de refrigeradores existentes en los hogares de cada uno de los 32 estados del país en el año 2000 del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000) y a estos valores se les sumaron los datos de los refrigeradores vendidos en el año 2001 y se restaron los que salieron del mercado, los datos fueron proporcionados por la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (ANFAD, 2001a). Los resultados se presentan en la Tabla 2.2.

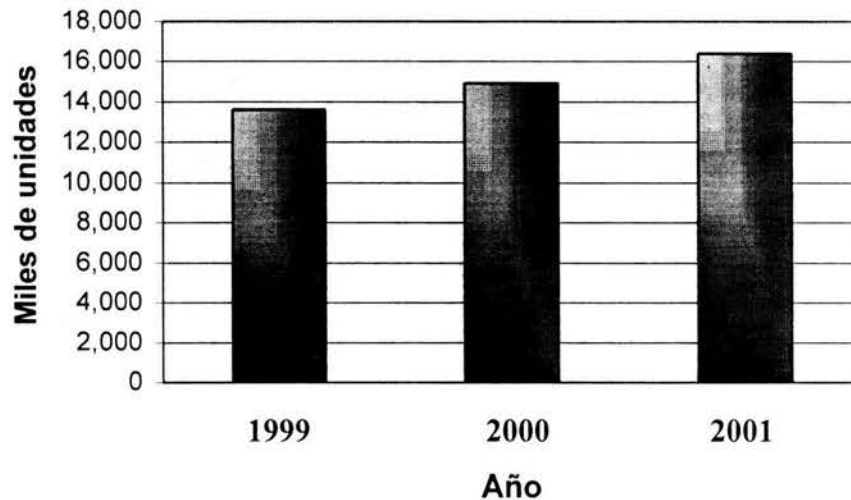
Tabla 2.2. Total de refrigeradores domésticos. Por Estado y total Nacional.

Estado	2001	
	Refrigeradores	%
Aguascalientes	177,233	1.08
Baja California	591,588	3.60
Baja California sur	94,140	0.57
Campeche	103,139	0.63
Coahuila	524,490	3.20
Colima	116,358	0.71
Chiapas	302,491	1.84
Chihuahua	707,888	4.31
Distrito Federal	2,020,151	12.31
Durango	252,614	1.54
Guanajuato	685,176	4.18
Guerrero	384,310	2.34
Hidalgo	249,982	1.52
Jalisco	1,292,394	7.88
México (Estado de)	2,121,855	12.93
Michoacán	594,058	3.62
Morelos	289,071	1.76
Nayarit	171,119	1.04
Nuevo León	899,135	5.48
Oaxaca	298,507	1.82
Puebla	516,733	3.15
Querétaro	219,529	1.34
Quintana Roo	152,094	0.93
San Luis Potosí	319,293	1.95
Sinaloa	525,361	3.20
Sonora	501,023	3.05
Tabasco	253,072	1.54
Tamaulipas	581,293	3.54
Tlaxcala	93,751	0.57
Veracruz	929,066	5.66
Yucatán	235,131	1.43
Zacatecas	208,308	1.27
Nivel Nacional	16,410,354	

(Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000).

Como puede observarse el total de refrigeradores es muy elevado, con más de 16 millones, aunque la concentración se da principalmente en los estados de México (12.93%) y Distrito Federal (12.31%). En los últimos 3 años se ha presentado un incremento en el total de refrigeradores a nivel nacional (Figura 2.3). Esto puede explicarse en función del incremento del número de personas y hogares en México. El incremento del 2001 con respecto al 2000 es de aproximadamente 9%.

Figura 2.3. Total de refrigeradores a nivel nacional.



(Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI).

Los 7 Estados con mayor participación representan más del 53% del total, lo que significa una distribución no homogénea. Si se considera que la población en México es cercana a los 100 millones de habitantes, se tiene que hay aproximadamente 1 refrigerador por cada 6 personas.

El número de refrigeradores domésticos de cada Estado de la República es un parámetro importante para determinar cual estado tiene el mayor número de refrigeradores y en cual existe el menor número de éstos (Figura 2.4). Los resultados encontrados son muy interesantes, ya que los Estados como Jalisco, D.F., Estado de México y Veracruz cuentan con el mayor número de refrigeradores que existen en el país; mientras que los Estados con el menor número de refrigeradores domésticos son Baja California Sur, Campeche, Colima y Tlaxcala que juntos representan menos del 2% del total del parque de refrigeradores.

Figura 2.4. Total de refrigeradores por Estado en el año 2001.

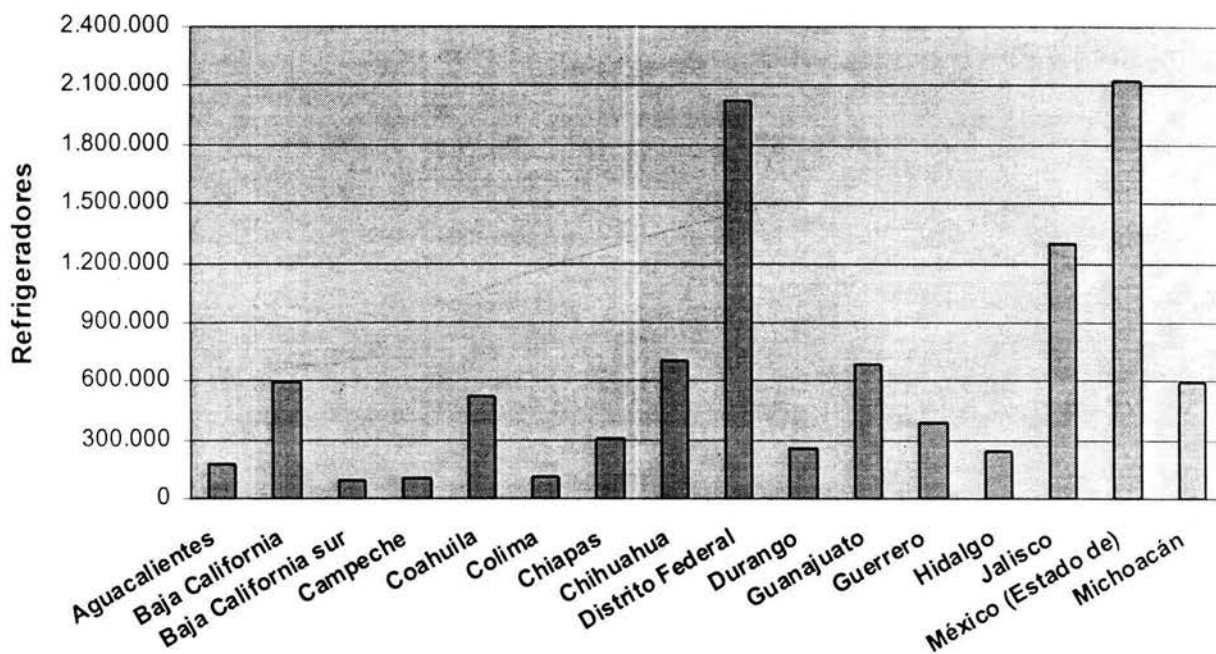
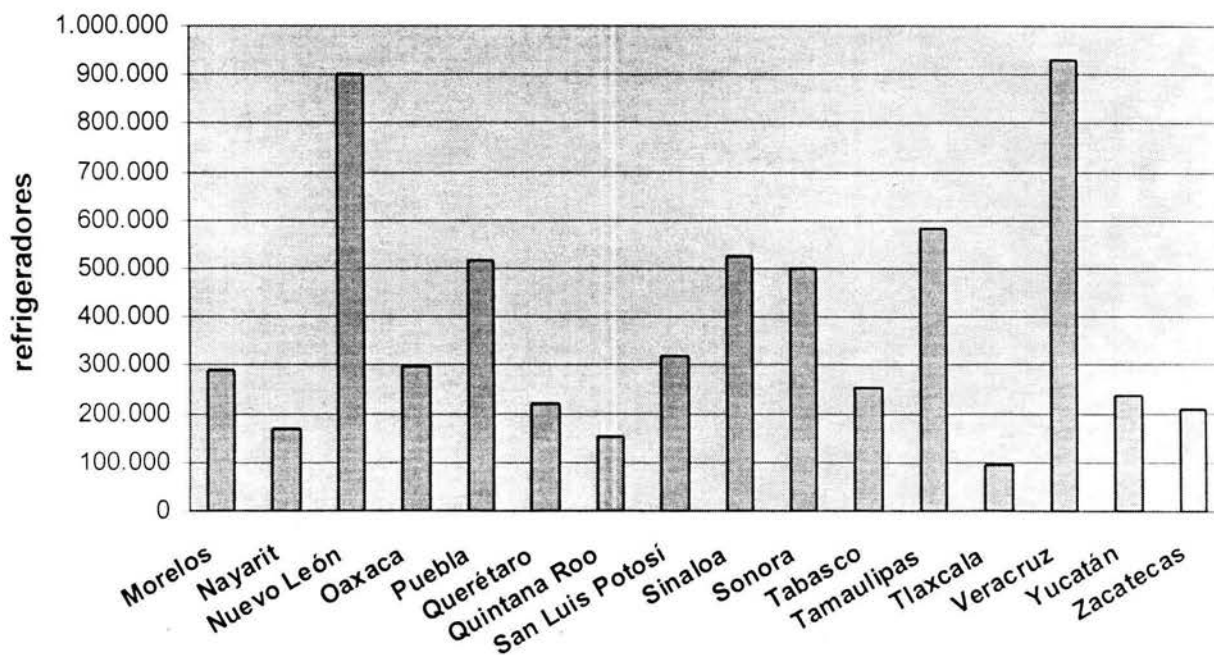


Figura 2.4. Total de refrigeradores por Estado en el año 2001 (Continuación).



(Fuente: INEGI).

2.6. Relación de refrigeradores domésticos con el número de habitantes.

Continuando con el estudio del parque de refrigeradores domésticos y analizando los datos presentados en la tabla 2.3 es posible determinar la relación que existe entre el número de refrigeradores por estado, con el número de habitantes. La interpretación de estos datos puede servir para estimar el número de habitantes por cada refrigerador doméstico (Figura 2.5) y también para establecer indirectamente las condiciones socioeconómicas que se hallan en los diferentes Estados de la República.

De la figura 2.5 se observa una distribución de los refrigeradores por habitante para cada Estado de la República poco equitativa, En los Estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sonora y Baja California Norte y Sur, se encuentra una distribución de aproximadamente 1 refrigerador por cada cuatro personas, mientras que en los Estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala, la relación de refrigeradores varía entre 8 y 12 personas por refrigerador.

Estos resultados pueden emplearse como un indicador de las condiciones económicas por las que atraviesan los diferentes Estados, ya que los que cuentan con más refrigeradores por habitante son todos los que se ubican en la zona norte del país, regiones consideradas con mayor poder adquisitivo. Otra posible explicación de la variación de este indicador puede ser las condiciones de temperatura y humedad en la zona norte del país que en algunas épocas del año, son extremas y poco favorables para la conservación de los alimentos y por ello el incremento en el uso de los refrigeradores.

El consumo en la energía eléctrica en el sector doméstico es otro punto que puede estudiarse dentro de este análisis, ya que en casi toda la región de la zona norte del país los niveles por el concepto de refrigeración y aire acondicionado son muy elevados, lo cual ha provocado inestabilidades sociales dentro del país, así como serios problemas al establecer las tarifas eléctricas.

En donde se presenta una relación de 4 personas por refrigerador, se puede considerar como un indicador del número de personas por familia, lo cual refleja una planificación familiar. En los Estados que se consideran marginados se presenta una distribución de más de 10 personas por cada refrigerador, que puede ser por tener familias grandes o por el rezago que existe en la construcción de viviendas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

Tabla 2.3. Número de personas por refrigerador.

Estado	2001		
	Habitantes	Refrigeradores	P/R
Aguascalientes	862,000	177,233	4.86
Baja California	2,100,000	591,588	3.55
Baja California sur	375,000	94,140	3.98
Campeche	642,000	103,139	6.22
Coahuila	2,200,000	524,490	4.19
Colima	487,000	116,358	4.19
Chiapas	3,600,000	302,491	11.90
Chihuahua	2,800,000	707,888	3.96
Distrito Federal	8,500,000	2,020,151	4.21
Durango	1,400,000	252,614	5.54
Guanajuato	4,400,000	685,176	6.42
Guerrero	2,900,000	384,310	7.55
Hidalgo	2,100,000	249,982	8.40
Jalisco	6,000,000	1,292,394	4.64
México (Estado de)	11,700,000	2,121,855	5.51
Michoacán	3,900,000	594,058	6.57
Morelos	1,400,000	289,071	4.84
Nayarit	896,000	171,119	5.24
Nuevo León	3,500,000	899,135	3.89
Oaxaca	3,200,000	298,507	10.72
Puebla	4,600,000	516,733	8.90
Querétaro	1,200,000	219,529	5.47
Quintana Roo	703,000	152,094	4.62
San Luis Potosí	2,200,000	319,293	6.89
Sinaloa	2,400,000	525,361	4.57
Sonora	2,100,000	501,023	4.19
Tabasco	1,700,000	253,072	6.72
Tamaulipas	2,500,000	581,293	4.30
Tlaxcala	884,000	93,751	9.43
Veracruz	6,700,000	929,066	7.21
Yucatán	1,600,000	235,131	6.80
Zacatecas	1,300,000	208,308	6.24
Nivel Nacional	89,987,000	16,410,354	5.48

P/R = Personas por refrigerador

(Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI).

Figura 2.5. Número de personas por refrigerador en el año 2001.

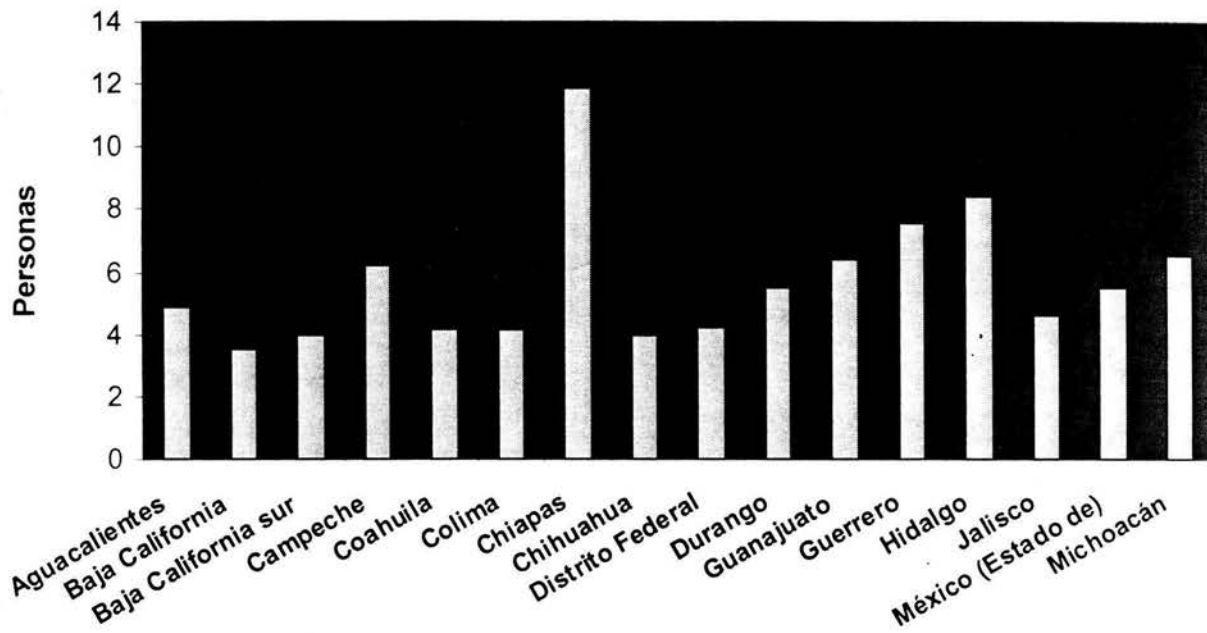
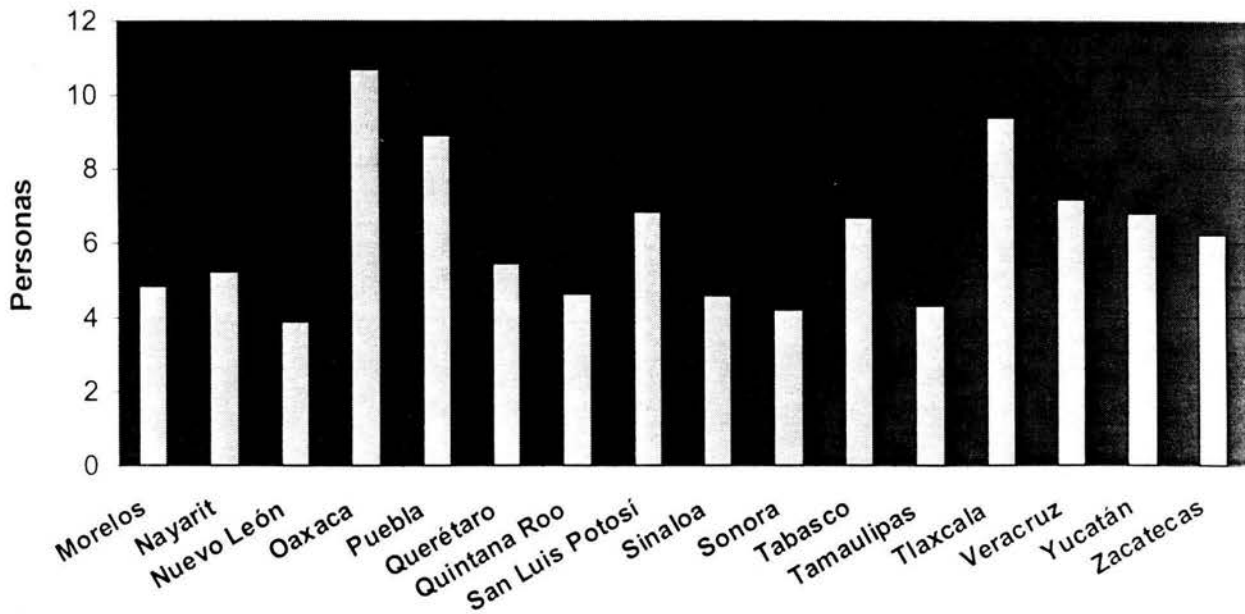


Figura 2.5. Número de personas por refrigerador en el año 2001 (Continuación).



(Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI).

2.7. Relación de refrigeradores domésticos con el número de viviendas electrificadas.

En este apartado se determino la relación entre el número de viviendas electrificadas en cada Estado del país y el número de refrigeradores domésticos existentes, esto se desarrollo en base al número de refrigeradores que existen en cada Estado de la República, y los contratos de suministro de energía eléctrica residencial que hay para cada Estado; teniendo como resultados los valores que se presentan en la tabla 2.4. Con estos datos se estimará el número de hogares que cuentan con un refrigerador, y así determinar los Estados que tienen la mayor densidad en uso de este dispositivo electrodoméstico. La figura 2.6 presenta los hogares electrificados que cuentan con refrigeradores y el número de viviendas que no cuentan con refrigerador. Este parámetro también puede reflejar condiciones económicas del país, ya que todavía en algunas regiones no se cuentan con los servicios básicos de electricidad y, por consecuencia tampoco con aparatos electrodomésticos como el refrigerador.

Como se puede observar de la tabla 2.4, el promedio nacional es de 0.8 refrigeradores por vivienda, lo que significa que aun no se alcanza la saturación del sector con refrigeradores. Lo ideal sería tener cuando menos 1 refrigerador en cada hogar, debido a que este aparato electrodoméstico actualmente es un servicio básico que debe existir en cada hogar del país; y como se indica en la tabla 2.4, se hallan Estados de la República en donde hay un refrigerador por cada dos hogares. Este indicador demuestra el atraso económico que hay en algunas regiones del país y el aumento en la demanda de refrigeradores domésticos.

En la figura 2.6 se observa el número de refrigeradores por vivienda que cuenta con electricidad por Estado. En los Estados de Baja California, Sonora, Coahuila, Nuevo León, D.F. y Chihuahua cada casa cuenta con un refrigerador, mientras que en los Estados de Chiapas, Hidalgo, Guerrero, Tlaxcala, Oaxaca y Puebla por cada 2 casas hay un refrigerador. Estos resultados muestran las regiones en donde existen más carencias con respecto a los servicios fundamentales. En Estados como Jalisco, el Estado de México y el Distrito Federal, que presentan el mayor numero de personas, se tiene una relación de refrigeradores por vivienda electrificada muy cercana a 1, pero este dato realmente no refleja plenamente la realidad, debido a que en la zona metropolitana de la Ciudad de México existen muchas zonas que no se encuentran censadas, los llamados cinturones de miseria. Por ello, la relación probablemente será más baja.

Este análisis exhibe la región en donde se concentra la mayor parte de los recursos económicos del país, que es la zona norte en donde existe una población no muy grande y que cuentan con todos los servicios, mientras que en otros Estados, más específicamente en parte de la región del Golfo y la región del Pacífico comprendida entre Guerrero y Oaxaca, se presenta un mayor número de habitantes y una falta de recursos considerable. Estos resultados se pueden ver reflejados actualmente en el poder adquisitivo de la población y en las ventas de refrigeradores nuevos, ya que la mayoría

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

de las personas prefiere mandar a reparar el refrigerador en el supuesto caso de una falla, que adquirir uno nuevo.

Tabla 2.4. Número de hogares, porcentaje de electrificación y refrigeradores por hogar en México. Valores por Estado y total nacional en el año 2001.

Estado	VE	% de electrificación	RNRVE
Aguascalientes	194,589	97.9	0.91
Baja California	584,666	97.2	1.01
Baja California Sur	99,148	94.6	0.95
Campeche	144,401	91.2	0.71
Coahuila	532,468	98.1	0.99
Colima	121,535	91.2	0.96
Chiapas	704,369	87.9	0.43
Chihuahua	710,843	93.9	1.00
Distrito Federal	2,114,434	99.5	0.96
Durango	303,257	93.6	0.83
Guanajuato	886,576	96.2	0.77
Guerrero	581,700	88.9	0.66
Hidalgo	451,710	91.5	0.55
Jalisco	1,344,186	96.5	0.96
México (Estado de)	2,685,595	93.8	0.79
Michoacán	806,949	94.6	0.74
Morelos	346,815	95.0	0.83
Nayarit	209,079	95.5	0.82
Nuevo León	865,650	97.6	1.04
Oaxaca	644,576	87.3	0.46
Puebla	975,131	92.2	0.53
Querétaro	277,436	93.8	0.79
Quintana Roo	200,632	94.8	0.76
San Luis Potosí	433,295	87.7	0.74
Sinaloa	551,385	95.9	0.95
Sonora	506,906	95.5	0.99
Tabasco	385,569	93.5	0.66
Tamaulipas	640,917	94.5	0.91
Tlaxcala	187,770	97.1	0.50
Veracruz	1,427,839	88.9	0.65
Yucatán	353,997	95.1	0.66
Zacatecas	284,873	95.6	0.73
Total Nacional	20,558,298	94.0	0.80

VE = Viviendas electrificadas

RNRVE = Relación de número de refrigeradores por vivienda electrificada

(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.inegi.gob.mx>)

Figura 2.6. Relación de refrigeradores por vivienda electrificada en el año 2001.

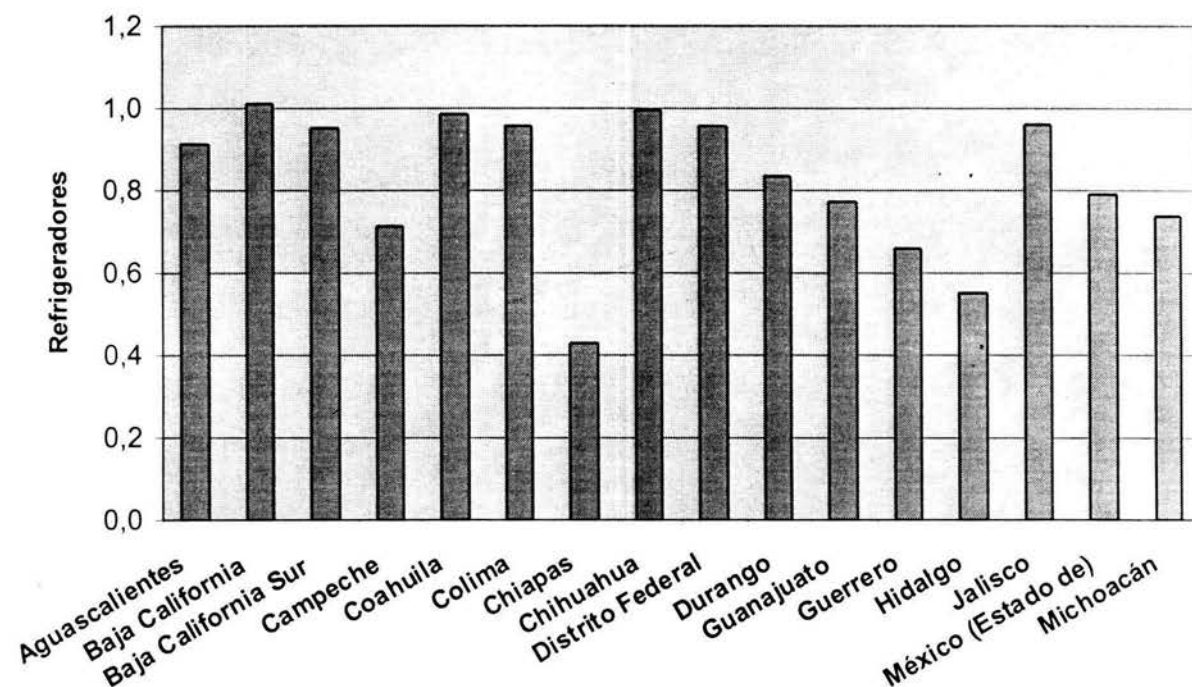
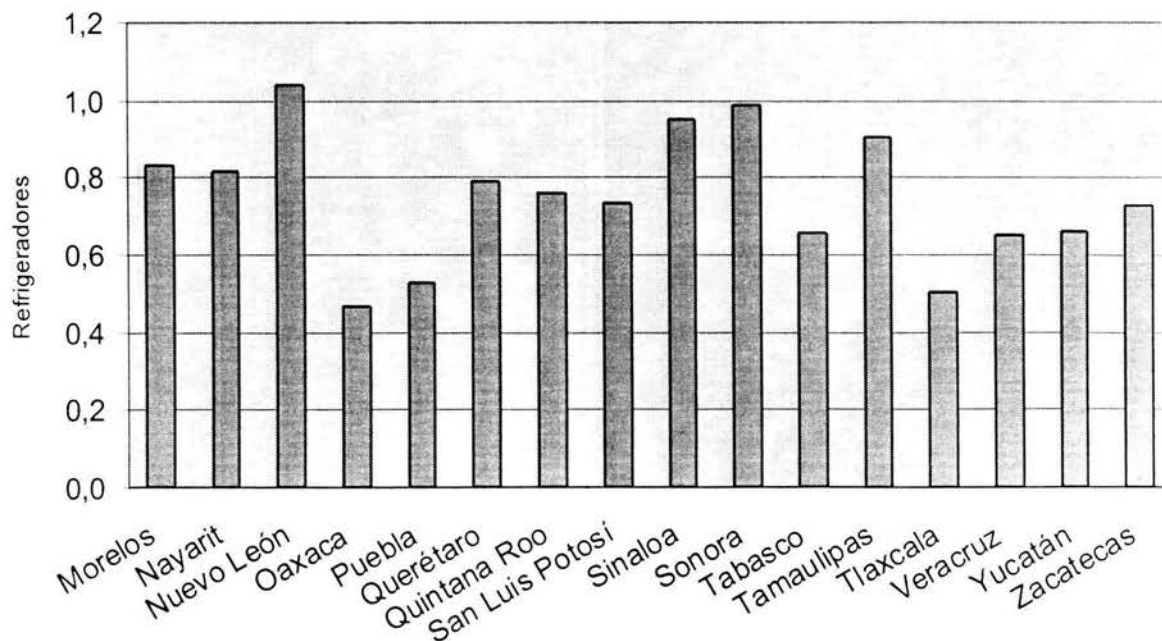


Figura 2.6. Relación de refrigeradores por vivienda electrificada en el año 2001 (Continuación).



(Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI).

2.8. Antigüedad y ventas de refrigeradores domésticos.

El propósito de este punto es determinar la antigüedad del parque de refrigeradores domésticos del país. Para ello se obtuvieron los datos de las ventas de los modelos de alta eficiencia en los últimos 3 años a partir de 2001. Con la antigüedad del parque de refrigeradores domésticos es posible estimar los consumos de energía y compararlos con el consumo de energía que presentan los nuevos refrigeradores, para así establecer el posible ahorro de energía en cada Estado y a nivel nacional. Posteriormente se contemplará la opción de actualizar todo o parte del parque de refrigeradores, a través de un programa de sustitución de refrigeradores por medio de un financiamiento económico, así como el ahorro de energía eléctrica estimado.

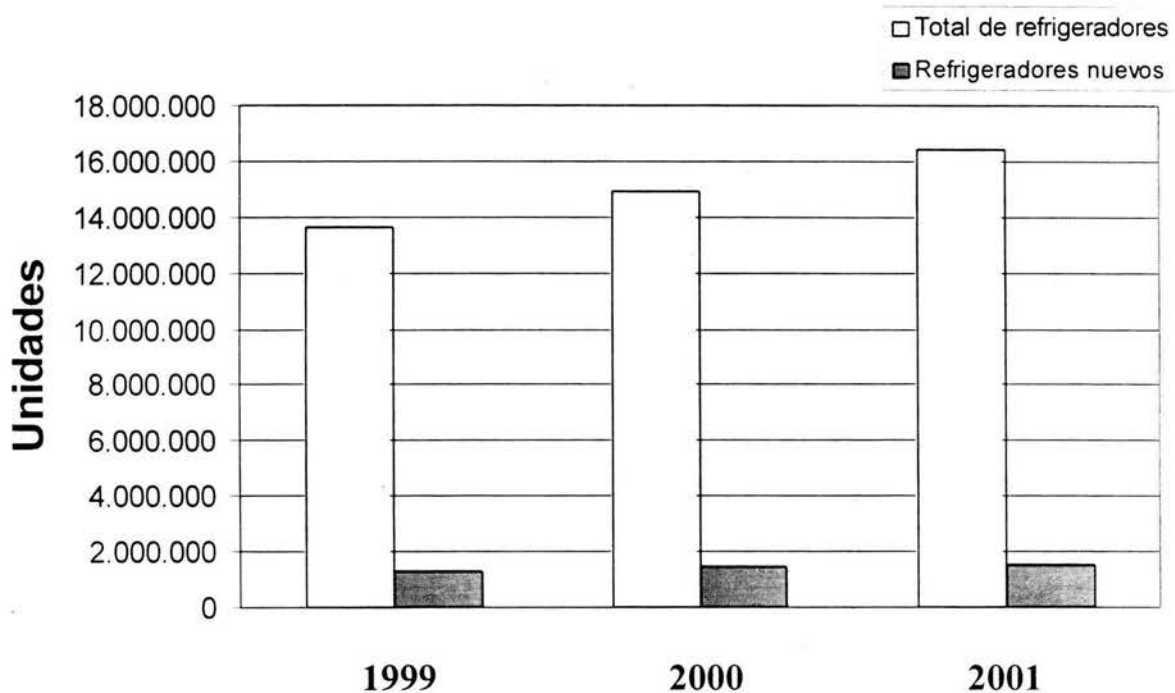
Los datos de ventas de refrigeradores se presentan en la tabla 2.5 y se observa un ligero incremento del 9% del 2000 al 2001 y del 9.5% de 1999 al 2000. Los Estados que presentan la mayor venta de refrigeradores son el Estado de México, el Distrito Federal y Jalisco. Tlaxcala, Baja California Sur y Colima fueron los menos activos.

Tabla 2.5. Ventas de refrigeradores de alta eficiencia a nivel nacional y por Estado de la República.

Estado	1999	2000	2001
Aguascalientes	12,788	16,054	16,162
Baja California	43,236	53,687	53,854
Baja California sur	6,858	7,562	7,621
Campeche	7,944	10,564	11,847
Coahuila	39,865	49,265	51,004
Colima	8,107	9,366	9,565
Chiapas	8,622	12,714	12,810
Chihuahua	57,658	65,087	68,258
Distrito Federal	183,557	200,654	202,316
Durango	14,115	15,478	15,692
Guanajuato	51,654	57,622	56,897
Guerrero	29,005	33,951	34,215
Hidalgo	18,206	18,809	18,957
Jalisco	109,591	118,962	121,614
México (Estado de)	185,674	202,656	203,783
Michoacán	47,046	49,871	49,895
Morelos	26,224	27,663	28,007
Nayarit	14,665	14,965	15,106
Nuevo León	81,887	85,598	87,396
Oaxaca	20,651	22,362	22,961
Puebla	37,228	39,654	40,045
Querétaro	17,907	21,005	21,554
Quintana Roo	12,667	14,941	15,147
San Luis Potosi	23,665	26,908	26,006
Sinaloa	43,651	49,614	50,465
Sonora	41,158	47,615	49,435
Tabasco	15,567	19,708	19,112
Tamaulipas	42,598	48,633	48,895
Tlaxcala	6,345	6,522	6,655
Veracruz	78,693	86,414	87,641
Yucatán	15,206	19,750	20,847
Zacatecas	13,954	16,332	17,225
Nivel Nacional	1,316,000	1,470,000	1,491,000

(Fuente: Elaboración con datos de ANFAD).

Figura 2.7. Comparación entre el total de parque de refrigeradores y los refrigeradores vendidos.



(Fuente: Elaboración propia con datos de ANFAD).

En la figura 2.7 se presenta la relación entre refrigeradores nuevos y usados. Se observa que en 1999 solamente el 9.67% de los refrigeradores son modelos nuevos; para el año 2000, el porcentaje aumentó a 9.85% y en el año 2001, el porcentaje continuó aproximadamente en 9.9%, lo cual demuestra un pequeño aumento en las ventas de refrigeradores domésticos. Otro resultado importante de analizar es que la mayoría del parque de refrigeradores domésticos (aproximadamente un 90%) son modelos antiguos de menor eficiencia, lo que implica un mayor consumo de energía eléctrica por concepto de refrigeración. En la tabla 2.6 se presenta la estimación del número de refrigeradores por intervalos de antigüedad para cada Estado del país.

La antigüedad de los refrigeradores se estimó con el número de refrigeradores del año 2001 y los datos proporcionados por la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (ANFAD) con respecto al porcentaje de refrigeradores que tienen de 1 a 10 años de antigüedad, de 11 a 20 años de antigüedad y con más de 21 años. Estos porcentajes son de 57% para los de 1 a 10 años, de 28% para los de 11 a 20 años y con más de 21 años un 15%.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

Tabla 2.6. Antigüedad estimada de los refrigeradores, por Estado de la República y a nivel nacional en el año 2001.

Estado	de 1 a 10 años	11 a 20 años	más de 21 años
Aguascalientes	107,973	45,100	24,161
Baja California	360,362	150,565	80,660
Baja California sur	56,937	24,225	12,978
Campeche	63,883	25,562	13,694
Coahuila	320,891	132,576	71,023
Colima	70,437	29,902	16,019
Chiapas	177,928	81,111	43,452
Chihuahua	432,847	179,097	95,945
Distrito Federal	1,238,482	508,994	272,675
Durango	150,737	66,338	35,538
Guanajuato	415,016	175,918	94,242
Guerrero	233,769	98,027	52,514
Hidalgo	150,641	64,687	34,654
Jalisco	788,958	327,818	175,617
México (Estado de)	1,297,084	537,060	287,711
Michoacán	360,068	152,366	81,625
Morelos	176,814	73,098	39,160
Nayarit	104,033	43,684	23,402
Nuevo León	550,087	227,287	121,761
Oaxaca	180,022	77,153	41,332
Puebla	311,757	133,473	71,503
Querétaro	134,400	55,433	29,696
Quintana Roo	93,207	38,345	20,542
San Luis Potosí	193,180	82,120	43,993
Sinaloa	321,156	132,971	71,234
Sonora	306,840	126,445	67,738
Tabasco	152,469	65,509	35,094
Tamaulipas	352,362	149,071	79,860
Tlaxcala	56,300	24,387	13,064
Veracruz	567,253	235,599	126,214
Yucatán	142,989	60,000	32,143
Zacatecas	126,142	53,503	28,662
Nivel Nacional	9,995,032	4,177,419	2,237,903

(Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y ANFAD).

Los datos presentados en la tabla 2.6 son la base para la estimación del consumo de energía eléctrica por el uso de refrigeradores ya que los refrigeradores que se encuentran dentro del intervalo de 1995 al 2000 consumen aproximadamente un 30% más que los refrigeradores de alta eficiencia, mientras que los comercializados antes de 1995 presentan un consumo de más del 60% (CONAE¹⁵).

¹⁵ CONAE (2002), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Boletín de prensa. México, D.F., 23 de septiembre de 2002.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

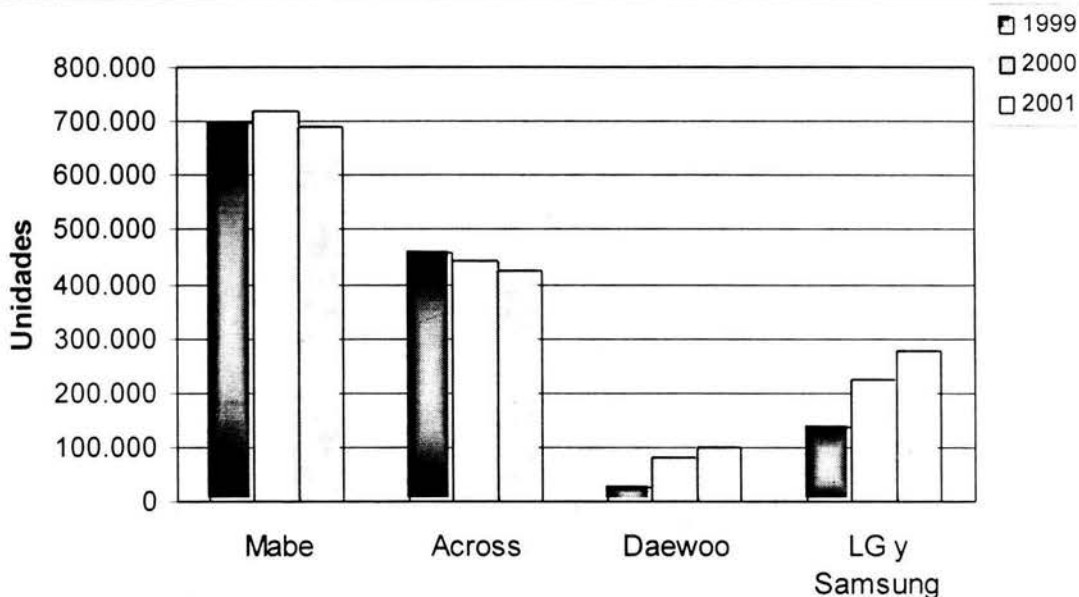
La tabla 2.7 presenta los refrigeradores vendidos en el año 2001 por los distintos fabricantes que existen en el mercado nacional, así como también los refrigeradores de importación. Este análisis permitirá realizar una clasificación de los modelos de mayor venta en cada Estado del país y el total nacional y con ello determinar cuáles son los refrigeradores a los que se les aplicarán las pruebas de eficiencia energética en el Laboratorio de Ambiente Controlado. Los mayores productores de refrigeradores domésticos en México son Mabe y Acros, mientras que los productores extranjeros que los importan son LG y Samsung.

Tabla 2.7. Refrigeradores de alta eficiencia vendidos por empresa.

Estado	2001			
	MABE	ACROS	DAEWOO	LG y SAMSUNG
Aguascalientes	7,467	4,606	1,067	3,006
Baja California	24,881	15,348	3,554	10,017
Baja California sur	3,521	2,172	503	1,418
Campeche	5,473	3,376	782	2,204
Coahuila	23,564	14,536	3,366	9,487
Colima	4,419	2,726	631	1,779
Chiapas	5,918	3,651	845	2,383
Chihuahua	31,535	19,454	4,505	12,696
Distrito Federal	93,470	57,660	13,353	37,631
Durango	7,250	4,472	1,036	2,919
Guanajuato	26,286	16,216	3,755	10,583
Guerrero	15,807	9,751	2,258	6,364
Hidalgo	8,758	5,403	1,251	3,526
Jalisco	56,186	34,660	8,027	22,620
México (Estado de)	94,148	58,078	13,450	37,904
Michoacán	23,051	14,220	3,293	9,280
Morelos	12,939	7,982	1,848	5,209
Nayarit	6,979	4,305	997	2,810
Nuevo León	40,377	24,908	5,768	16,256
Oaxaca	10,608	6,544	1,515	4,271
Puebla	18,501	11,413	2,643	7,448
Querétaro	9,958	6,143	1,423	4,009
Quintana Roo	6,998	4,317	1,000	2,817
San Luis Potosí	12,015	7,412	1,716	4,837
Sinaloa	23,315	14,383	3,331	9,386
Sonora	22,839	14,089	3,263	9,195
Tabasco	8,830	5,447	1,261	3,555
Tamaulipas	22,589	13,935	3,227	9,094
Tlaxcala	3,075	1,897	439	1,238
Veracruz	40,490	24,978	5,784	16,301
Yucatán	9,631	5,941	1,376	3,878
Zacatecas	7,958	4,909	1,137	3,204
Nivel Nacional	689,000	424,930	98,400	277,300

(Fuente: Elaboración propia con datos de cada fabricante)

Figura 2.8. Ventas de refrigeradores eficientes por fabricante.



(Fuente: Elaboración propia con datos de cada fabricante)

El ritmo que han presentado las ventas de refrigeradores nacionales en el país es cada año menor en comparación con la importación de los refrigeradores coreanos y algunos de Estados Unidos (Figura 2.12). Aunque las compañías extranjeras tienen ya una presencia importante dentro del mercado de refrigeradores electrodomésticos, siguen siendo Mabe y Acros las compañías con mayor producción, pero cabe señalar que sí existe una mayor importación de aparatos electrodomésticos libres de aranceles. Esta situación puede beneficiar en forma directa a los consumidores, ya que los costos de los refrigeradores serán menores y, por consecuencia, más accesibles, y se verá reflejado en más reducción del consumo de energía eléctrica, ya que los nuevos refrigeradores son más eficientes. No obstante, la sobrevivencia de las empresas asentadas en México podría verse comprometida.

Es de suma importancia señalar que la antigüedad de los refrigeradores en el parque se debe a que casi en su totalidad, los refrigeradores no salen del mercado, ya que aunque tienen una vida útil de aproximadamente 10 años, la mayoría de las familias los conserva en forma adecuada y alargan su vida a 20 años o más. Por otro lado, en general el poder adquisitivo de las familias mexicanas no es tan bueno en algunas regiones del país como para poder cambiar el refrigerador cada 10 años. Por ello, aproximadamente solo el 1.7% de parque de refrigeradores domésticos sale del mercado¹⁶, lo cual a nivel nacional no representa una gran cantidad de energía eléctrica no registrada.

¹⁶ Op. Cit. ANFAD (2001a).

2.9. Distribución del parque de refrigeradores domésticos en función de la eficiencia.

La determinación de la distribución del parque de refrigeradores con relación a su eficiencia es un punto significativo dentro de este trabajo; ya que con ello se puede determinar el número aproximado de refrigeradores considerados de alta eficiencia, así como también los de baja eficiencia y establecer el consumo aproximado de energía eléctrica por concepto de refrigeración.

Para realizar esta estimación se parte de la información del número de refrigeradores por Estado del Censo de Población y Vivienda del año 2000 (INEGI, 2000) y los datos de ventas proporcionados por ANFAD para los años 1999, 2000 y 2001. Primeramente se calculó el número de refrigeradores existentes en esos tres años en cada Estado del país. Para poder estimar el parque en años anteriores, se recurrió a estadísticas de ANFAD (2001b), quienes reportan que el 57% del total de refrigeradores tienen de 1 a 10 años de antigüedad; 28%, de 11 a 20 años y 15%, más de 21 años; así como el porcentaje anual de refrigeradores existentes.

En la tabla 2.8 se presentan los resultados de esta evaluación para la distribución de refrigeradores domésticos por periodos de diez años. También se presenta el año en que entraron al mercado los refrigeradores de alta eficiencia y el total de refrigeradores eficientes y no eficientes; Los modelos de baja eficiencia, representa casi un 52% del total a nivel Nacional, lo cual indica que existe un potencial interesante de ahorro de energía en el ámbito de refrigeración doméstica.

La entrada al mercado de los refrigeradores con mayor eficiencia fue al inicio del año de 1995, debido a que en el año de 1994 se implementa la Norma Oficial NOM-072-SCFI-1994, en donde se establecían límites en el consumo de energía eléctrica de acuerdo al modelo y la capacidad de almacenamiento de los refrigeradores que se quisieran comercializar dentro del país. Estos límites de consumo eléctrico, hicieron que los fabricantes de refrigeradores trabajaran en mejoras técnicas y nuevos diseños de los refrigeradores, para lograr una disminución en el consumo de energía eléctrica. Desde el año de 1995 hasta el 2001 se ha mostrado un aumento en la venta de refrigeradores, lo que indica una recuperación en la economía del país.

En la figura 2.9 se presenta la distribución del número de refrigeradores eficientes y no eficientes por Estado. Se observa que los Estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sinaloa, Sonora, Jalisco, Estado de México y Distrito Federal, tienen el mayor número de refrigeradores eficientes, mientras que en los Estados de Chiapas, Durango, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas, su parque de refrigeradores eficientes es menor en comparación con los refrigeradores no eficientes.

La información por los Estados permitirá saber en cuales se puede instituir un programa de financiamiento para cambiar los refrigeradores viejos por refrigeradores de

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

alta eficiencia. Otro punto importante que se puede obtener de los datos, es la determinación de los Estados que consumen más energía eléctrica por el uso de refrigeradores, y por consiguiente, proponer alguna modificación a las tarifas eléctricas que actualmente existen en esas regiones, en función del poder adquisitivo de las familias y las condiciones climáticas que existen en durante todo el año.

Tabla 2.8. Distribución de los refrigeradores domésticos en función a su eficiencia.

Estado	Distribución de refrigeradores					Refrigeradores	
	1980 y anteriores	1981-1990	1991-1994	1995-2000	2001	Eficientes *	No eficientes
Aguascalientes	24,161	45,100	20,846	70,965	16,162	87,127	90,106
Baja California	80,660	150,565	69,225	237,283	53,854	291,137	300,451
Baja California sur	12,978	24,225	15,033	34,283	7,621	41,904	52,236
Campeche	13,694	25,562	2,651	49,385	11,847	61,232	41,907
Coahuila	71,023	132,576	47,825	222,062	51,004	273,066	251,424
Colima	16,019	29,902	18,469	42,402	9,565	51,967	64,390
Chiapas	43,452	81,111	110,395	54,723	12,810	67,533	234,958
Chihuahua	95,945	179,097	63,943	300,646	68,258	368,904	338,984
Distrito Federal	272,675	508,994	124,658	911,508	202,316	1,113,824	906,327
Durango	35,538	66,338	64,554	70,491	15,692	86,183	166,431
Guanajuato	94,242	175,918	100,552	257,567	56,897	314,464	370,712
Guerrero	52,514	98,027	47,424	152,131	34,215	186,346	197,965
Hidalgo	34,654	64,687	45,262	86,423	18,957	105,380	144,603
Jalisco	175,617	327,818	121,828	545,516	121,614	667,130	625,263
México (Estado de)	287,711	537,060	173,851	919,451	203,783	1,123,234	998,622
Michoacán	81,625	152,366	83,215	226,959	49,895	276,854	317,205
Morelos	39,160	73,098	21,925	126,882	28,007	154,889	134,183
Nayarit	23,402	43,684	19,927	69,001	15,106	84,107	87,012
Nuevo León	121,761	227,287	67,426	395,266	87,396	482,662	416,474
Oaxaca	41,332	77,153	54,205	102,856	22,961	125,817	172,689
Puebla	71,503	133,473	90,461	181,251	40,045	221,296	295,437
Querétaro	29,696	55,433	17,757	95,088	21,554	116,642	102,887
Quintana Roo	20,542	38,345	10,974	67,086	15,147	82,233	69,861
San Luis Potosí	43,993	82,120	48,821	118,353	26,006	144,359	174,935
Sinaloa	71,234	132,971	45,898	224,792	50,465	275,257	250,103
Sonora	67,738	126,445	39,790	217,616	49,435	267,051	233,973
Tabasco	35,094	65,509	48,271	85,087	19,112	104,199	148,874
Tamaulipas	79,860	149,071	84,800	218,666	48,895	267,561	313,732
Tlaxcala	13,064	24,387	19,433	30,212	6,655	36,867	56,884
Veracruz	126,214	235,599	86,086	393,526	87,641	481,167	447,898
Yucatán	32,143	60,000	32,852	89,290	20,847	110,137	124,995
Zacatecas	28,662	53,503	33,738	75,180	17,225	92,405	115,903
					Nivel Nacional	8,162,931	8,247,423

* Los refrigeradores eficientes comienzan a fabricarse a partir de 1995

(Fuente: Elaboración propia con datos de ANFAD e INEGI)

Figura 2.9. Distribución del parque de refrigeradores domésticos en función de su eficiencia.

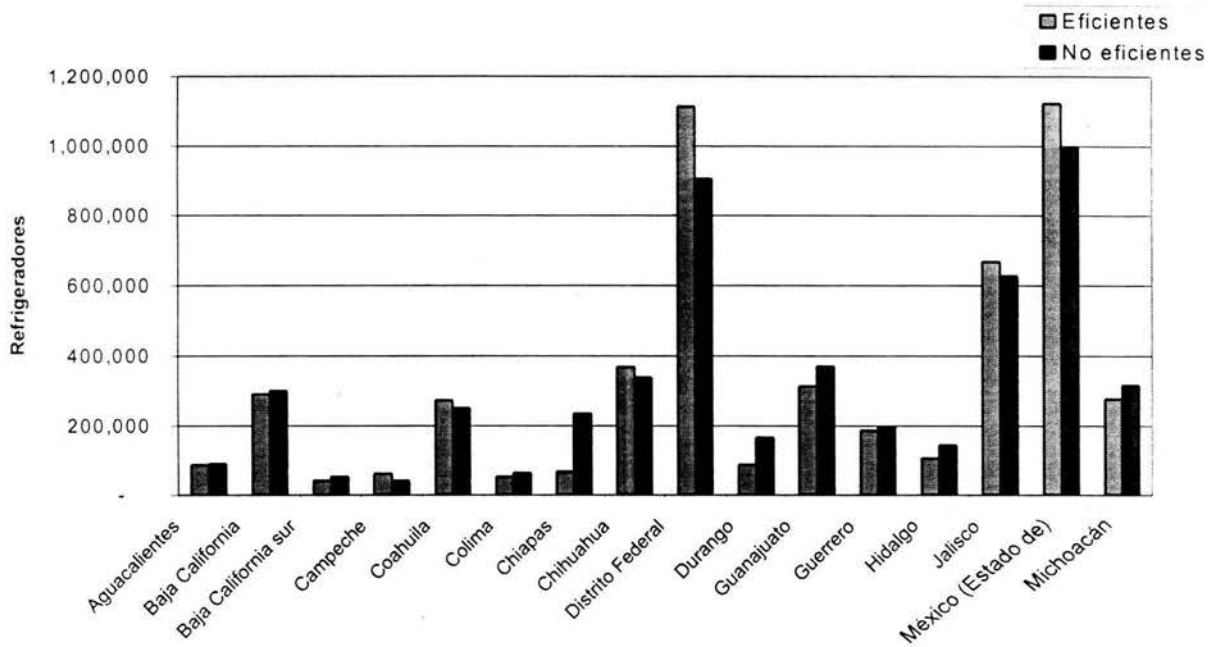
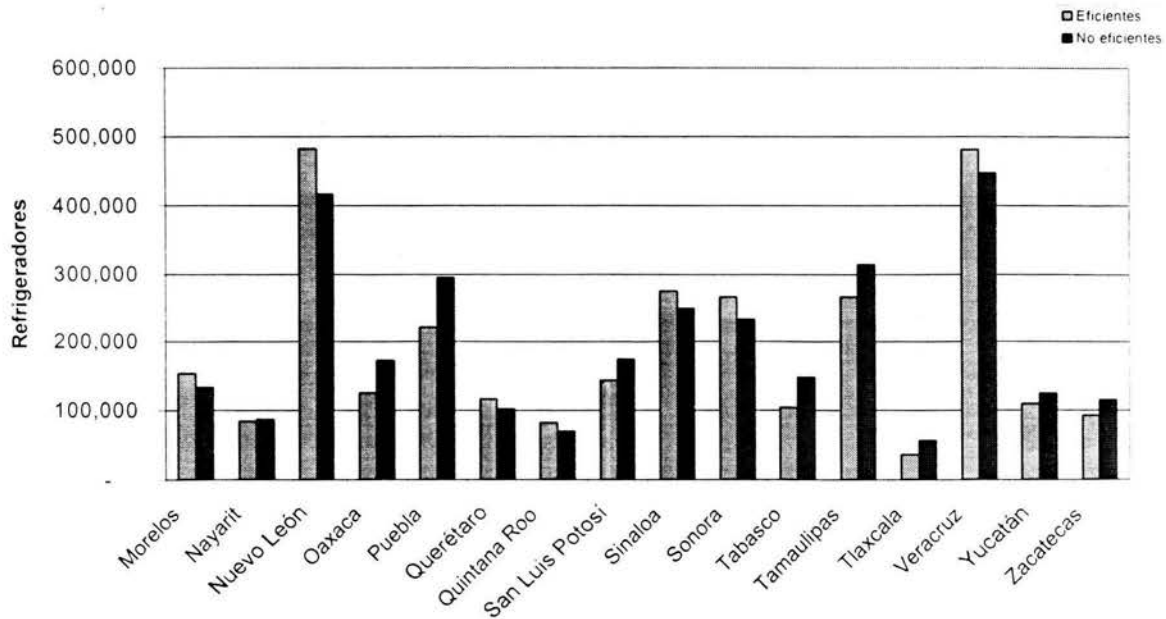


Figura 2.9. Distribución del parque de refrigeradores domésticos en función de su eficiencia (Continuación).



(Fuente: Elaboración propia con datos de ANFAD).

2.10. Modelos de refrigeradores de mayor uso a nivel nacional.

De acuerdo con el estudio de mercado sobre refrigeradores domésticos de mayor uso en el Distrito Federal y su Área Metropolitana de la PROFECO¹⁷ y considerando las estadísticas presentadas por la ANFAD, fue posible desarrollar una clasificación con base en la marca, características, deshielo, potencia nominal y consumo anual de energía eléctrica. Esta división permitirá determinar los consumos de energía para la zona centro del país; mientras que en los demás Estados se considerarán los mismos modelos que en el Distrito Federal debido a que no se cuentan con los datos de los modelos de mayor uso en los otros Estados del país. De cualquier forma esta consideración de los modelos se acerca mucho a la realidad, debido a que a través de pláticas con distribuidores de refrigeradores, se percibió que los modelos de mayor venta en el Distrito Federal, son los mismos que se venden en el interior de la República Mexicana, salvo que existe la diferencia entre volúmenes de ventas. En la tabla 2.9 se muestra la clasificación de los modelos de refrigeradores más usados en el Distrito Federal y su Área metropolitana en función de su capacidad.

Tabla 2.9. Modelos de refrigeradores de mayor venta.

Refrigeradores de 8 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
LG	Refrigerador/Congelador	Automático	110	346,83
Acros	Refrigerador Convencional	Manual	150	350,7
Blue Point	Refrigerador Convencional	Semiautomático	143	320,5
Supermatic	Refrigerador Convencional	Semiautomático	140	325,5
Philips	Refrigerador Convencional	Semiautomático	145	330,2
Mabe	Refrigerador Convencional	Manual	110	313,05
Kelvinator	Refrigerador Convencional	Manual	110	310,5
IEM	Refrigerador Convencional	Manual	110	310,5
Kenmore	Refrigerador Convencional	Manual	110	315
GE	Refrigerador Convencional	Manual	110	315,5
Acros	Refrigerador Convencional	Semiautomático	125	295
Whirlpool	Refrigerador Convencional	Semiautomático	120	295,5

Refrigeradores de 9 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
Mabe	Refrigerador/Congelador	Automático	122	481,67
Supermatic	Refrigerador/Congelador	Automático	120	475,35
Acros	Refrigerador/Congelador	Automático	122	475,35
GE	Refrigerador/Congelador	Automático	122	480,5
IEM	Refrigerador/Congelador	Automático	125	485,3
IEM	Refrigerador Convencional	Semiautomático	110	424,25
Mabe	Refrigerador Convencional	Semiautomático	112	425,06
GE	Refrigerador Convencional	Semiautomático	115	430,5
Kelvinator	Refrigerador Convencional	Semiautomático	110	428,74
Mabe	Refrigerador Convencional	Manual	122	481,67
Hotpoint	Refrigerador Convencional	Manual	125	485,3

¹⁷ Op. Cit. Revista del Consumidor No. 279, Mayo 1999.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

Tabla 2.9. Modelos de refrigeradores de mayor venta (Continuación).

Refrigeradores de 10 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
LG	Refrigerador/Congelador	Automático	175	533.8
Samsung	Refrigerador/Congelador	Automático	165	522.93
Daewoo	Refrigerador/Congelador	Automático	165	525.1
Acros	Refrigerador Convencional	Semiautomático	150	305.6
Supermatic	Refrigerador Convencional	Semiautomático	145	300.5
Philips	Refrigerador Convencional	Semiautomático	150	303.7
Singer	Refrigerador Convencional	Semiautomático	150	308.6
Whirlpool	Refrigerador Convencional	Semiautomático	140	300.8
Bluepoint	Refrigerador Convencional	Semiautomático	155	305
Tropigas	Refrigerador Convencional	Semiautomático	155	304.5
IEM	Refrigerador Convencional	Semiautomático	120	447.49
GE	Refrigerador Convencional	Semiautomático	122	445.5
Mabe	Refrigerador Convencional	Semiautomático	120	446.6
hotpoint	Refrigerador Convencional	Semiautomático	125	445
Mabe	Refrigerador Convencional	Manual	118	431.43
GE	Refrigerador Convencional	Manual	120	430.7
Kelvinator	Refrigerador Convencional	Manual	115	435.5
IEM	Refrigerador Convencional	Manual	117	433.2
Kenmore	Refrigerador Convencional	Manual	118	435

Refrigeradores de 11 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
GE	Refrigerador Convencional	Semiautomático	110	456.25
Mabe	Refrigerador Convencional	Semiautomático	112	455.2
IEM	Refrigerador Convencional	Semiautomático	110	456.3
Samsung	Refrigerador Convencional	Semiautomático	115	458.5

Refrigeradores de 12 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
Whirlpool	Refrigerador/congelador	Automático	130	568.3
Acros	Refrigerador/congelador	Automático	135	565.2
Supermatic	Refrigerador/congelador	Automático	133	570.4
Philips	Refrigerador/congelador	Automático	130	568.3
Singer	Refrigerador/congelador	Automático	130	568.3
Kenmore	Refrigerador/congelador	Automático	132	569.4
Bluepoint	Refrigerador/congelador	Automático	130	566.8
Mabe	Refrigerador/congelador	Automático	130	565.5

Refrigeradores de 13 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
LG	Refrigerador/congelador	Automático	170	513.11
Acros	Refrigerador/congelador	Automático	170	520.2
GE	Refrigerador/congelador	Automático	170	515.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

Tabla 2.9. Modelos de refrigeradores de mayor venta (Continuación).

Refrigeradores de 14 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
Acros	Refrigerador/congelador	Automático	146.6	600.2
Whirlpool	Refrigerador/congelador	Automático	145.1	602.4
Philips	Refrigerador/congelador	Automático	145	600.5
Bluepoint	Refrigerador/congelador	Automático	146	605.1
Supermatic	Refrigerador/congelador	Automático	145	600.4
Kenmore	Refrigerador/congelador	Automático	147	601.2
GE	Refrigerador/congelador	Automático	145	599.57
Mabe	Refrigerador/congelador	Automático	146	598
IEM	Refrigerador/congelador	Automático	145	599.5
Hotpoint	Refrigerador/congelador	Automático	145	599.2

Refrigeradores de 15 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
Maytag	Refrigerador/congelador	Automático	169	638
GE	Refrigerador/congelador	Automático	170	637.53
Mabe	Refrigerador/congelador	Automático	170	637
Kenmore	Refrigerador/congelador	Automático	169	639
Hotpoint	Refrigerador/congelador	Automático	170	638
Daewoo	Refrigerador/congelador	Automático	170	631.5
Admiral	Refrigerador/congelador	Automático	169	633.2
LG	Refrigerador/congelador	Automático	170	517.51

Refrigeradores de 17 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
LG	Refrigerador/congelador	Automático	145	562.74
Whirlpool	Refrigerador/congelador	Automático	144	592
Acros	Refrigerador/congelador	Automático	145	587
Supermatic	Refrigerador/congelador	Automático	145	585
Kenmore	Refrigerador/congelador	Automático	145	858
Magic chef	Refrigerador/congelador	Automático	143	640
Admiral	Refrigerador/congelador	Automático	143	645.2
Maytag	Refrigerador/congelador	Automático	143	642.16
Frigidaire	Refrigerador/congelador	Automático	130	462.3

Refrigeradores de 18 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
LG	Refrigerador/congelador	Automático	165	690
Samsung	Refrigerador/congelador	Automático	155	685.3
GE	Refrigerador/congelador	Automático	160	681.57
Kenmore	Refrigerador/congelador	Automático	160	680.57
Hotpoint	Refrigerador/congelador	Automático	162	681
Mabe	Refrigerador/congelador	Automático	160	685
Acros	Refrigerador/congelador	Automático	165	601.2
Whirlpool	Refrigerador/congelador	Automático	160	601.2
Supermatic	Refrigerador/congelador	Automático	160	640.5
Kirkland	Refrigerador/congelador	Automático	165	641
Blue point	Refrigerador/congelador	Automático	165	640.5
Magic chef	Refrigerador/congelador	Automático	165	645.81
Admiral	Refrigerador/congelador	Automático	170	645.81
Maytag	Refrigerador/congelador	Automático	170	645.81

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

Tabla 2.9. Modelos de refrigeradores de mayor venta (Continuación).

Refrigeradores de 20 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
Samsung	Refrigerador/congelador	Automático	200	831.84
Whirlpool	Refrigerador/congelador	Automático	180	690.2
Acros	Refrigerador/congelador	Automático	180	691
GE	Refrigerador/congelador	Automático	190	700.5
Frigidaire	Refrigerador/congelador	Automático	180	532.3

Refrigeradores de 21 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
GE	Refrigerador/congelador	Automático	205	855.3
Maytag	Refrigerador/congelador	Automático	205	860
Magic chef	Refrigerador/congelador	Automático	205	860.5

Refrigeradores de 25 pies cúbicos				
Marca	Características	Deshielo	Potencia Nominal (W)	Consumo Anual (kwh/año)
Whirlpool	Refrigerador/congelador	Automático	225	900.5

(Fuente: Elaboración propia con datos de PROFECO).

Con los modelos de refrigeradores domésticos de mayor venta en el mercado mexicano y sus características de operación, es posible establecer los consumos estimados de energía eléctrica que éstos representan. Estos consumos servirán posteriormente para determinar el potencial de ahorro de energía que existe; y también podrán ser una base importante para la propuesta de un programa de sustitución de refrigeradores domésticos.

2.11. Resumen.

Como primeros resultados de este trabajo, se puede mencionar la división que se hizo al parque de refrigeradores en función de su edad, la que permitió establecer consumos de energía por nichos de edad, y así determinar el intervalo de edades en los refrigeradores donde existe el mayor potencial de ahorro de energía. Con dicho análisis se encontró que aproximadamente el 15% del total nacional que existen operando actualmente dentro de los hogares, tienen más de 21 años de antigüedad, y por consecuencia son los refrigeradores que consumen más energía eléctrica en comparación con los modelos comercializados en el 2002, la cual es más del 60%. (CONAE 2002). Aunque por otra parte es preciso señalar que aun cuando estos modelos de refrigeradores tiene los consumos más altos, el grueso del parque de refrigeradores se encuentra entre las edades de 1 a 10 años con un poco más de 57% del total de refrigeradores.

Otra aportación de este trabajo de investigación es la determinación del número de personas que existe por cada refrigerador (Tabla 2.3); dicho parámetro fue establecido para cada Estado de la República, lo que permitió conocer en cuales Estados se cuenta con la mayoría de los servicios básicos, y en donde no existen servicios y hay poco poder adquisitivo. También se estableció la relación de viviendas electrificadas con el número de refrigeradores que existen en el país (Tabla 2.4), esto con la finalidad de determinar no solamente los consumos de energía y el potencial de ahorro, sino además exhibir la falta de recursos que existen en el país, y en especial en ciertas regiones como Chiapas, Tlaxcala o Puebla, por mencionar algunas.

Por otra parte, se determinaron los modelos de refrigeradores de mayor uso en el país y su distribución que existe en función a su capacidad. Esto, servirá como base para llevar a cabo la evaluación del consumo de energía eléctrica por refrigeración a nivel nacional, la cual se presentara en el siguiente tema de este trabajo de investigación. También se determinaron las regiones del país en donde se podría implementar un programa de sustitución acelerada de refrigeradores domésticos, basándose principalmente en el gran número de unidades que existen todavía con altos consumos de energía o con una antigüedad de más de 20 años.

3. Evaluación del consumo de energía eléctrica por refrigeración doméstica y el potencial de ahorro.

3.1. Introducción.

La determinación del consumo de energía por el concepto de refrigeración describe la importancia del uso que tiene este aparato en los hogares mexicanos, y que muchas veces no se toma en cuenta por la falta de información, o por el poco interés que existe de las personas hacia este electrodoméstico tan importante dentro de las viviendas. Por ello, la evaluación del consumo de energía, para la mayoría de los refrigeradores domésticos que existe actualmente en el país, es muy importante, ya que servirá para plantear una propuesta gubernamental sobre la sustitución del parque de refrigeradores domésticos actuales por refrigeradores más eficientes; y también determinar el posible ahorro que existe si este programa se realiza a la brevedad posible.

Dentro de este tema se presentarán las regiones del país en donde se podría llevar a cabo una primera etapa de sustitución de refrigeradores, esto con base en el número de unidades que existen por región o por Estado de la República y por antigüedad de los modelos. También se estimará la energía que se podría dejar de producir, si se contara con un parque de refrigeradores domésticos de mayor eficiencia.

3.2. Determinación de los consumos de energía eléctrica por modelo de refrigerador.

Para llevar a cabo este cálculo primeramente se determinaron los porcentajes de ventas de los diferentes modelos de refrigeradores que existen en el mercado. La determinación del porcentaje de ventas se obtuvo mediante el reporte de ventas de diferentes tiendas departamentales (ELEKTRA, Salinas y Rocha, Gigante, Aurrerá, FAMSA). Dichos reportes comienzan a partir del año de 1995. Para estimar los porcentajes de ventas correspondientes al año 1994 y anteriores se usaron los datos de la ANFAD y los datos del Censo de población de 1990 y 1980, con respecto al número de refrigeradores que existían antes de 1995.

Cabe señalar que este porcentaje de ventas corresponde solamente para el Distrito Federal, y dado que no se cuenta con datos para los demás Estados de la República Mexicana, se supondrá un porcentaje de ventas de refrigeradores semejante en todos los Estados. Esto guardando las proporciones entre las unidades existentes en cada Estado, ya que si bien, no se venden el mismo número de refrigeradores en el Distrito federal, que por ejemplo en Veracruz, si se puede decir que las tendencias de ventas son las mismas.

Esta suposición se respalda en los comentarios proporcionados por gerentes de ventas de las diferentes tiendas departamentales antes mencionadas, los cuales indicaron que en todas sus tiendas distribuidas en la República Mexicana, existen los mismos

modelos de refrigeradores domésticos, y que las tendencias de ventas de algunas marcas o capacidades de refrigeradores en específico son las mismas en casi todo el país.

Para la obtención del consumo promedio de cada refrigerador en función de su capacidad (pies cúbicos), se seleccionan todos los modelos de todas las marcas que se venden en esa capacidad (Tabla 2.9), se suman los consumos individuales y se saca el promedio. De la misma manera se procede para la siguiente capacidad.

Tabla 3.1. Porcentaje de ventas y consumo anual promedio de refrigeradores domésticos en el año 2001.

Capacidad (ft ³)	% Ventas	Consumo anual promedio
		kwh/año
< 8	8.47	281
8	7.94	327
9	9.72	443
10	8.07	403
11	10.91	457
12	7.62	568
13	11.97	516
14	10.51	601
15	5.28	621
17	4.45	619
18	4.68	655
20	3.97	689
21	3.83	859
25	2.57	901

(Fuente: Elaboración propia con datos de Diferentes tiendas departamentales)

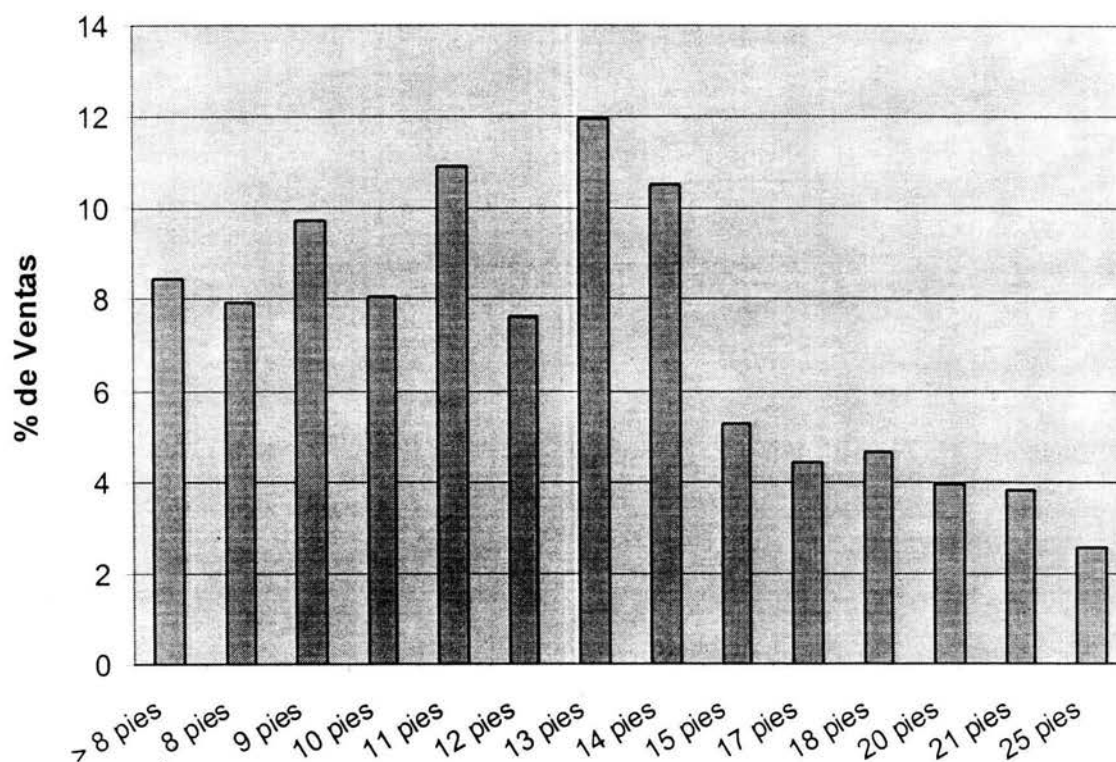
Los resultados de la tabla 3.1 indican que los modelos de refrigeradores de 9, 11, 13 y 14 pies cúbicos de capacidad son los de mayor uso en el Distrito Federal. Los resultados permiten establecer los modelos de refrigeradores que podrían ser sometidos a las pruebas de eficiencia energética en el Laboratorio de Ambiente Controlado. Pero de acuerdo con el presupuesto y los refrigeradores con los que se cuenten en el momento de llevar a cabo las pruebas, serán los que se sometan a las pruebas correspondientes.

La distribución porcentual de ventas por modelos de refrigeradores de la figura 3.1, presenta un intervalo de capacidades en pies cúbicos de los refrigeradores más usados, el cual se encuentra comprendido entre los 9 y 14 ft³; mientras que los modelos que tienen menor demanda dentro del mercado son los de más de 17 ft³. Estos resultados muestran que la mayoría de las familias adquiere los modelos y las marcas de refrigeradores que se encuentran en existencia dentro de las tiendas departamentales, sin

importarles las necesidades que tengan con respecto a los alimentos a refrigerar, la capacidad del refrigerador o el consumo de energía que maneje anualmente.

Otra observación que se tuvo cuando se realizaron las entrevistas con los vendedores de blancos en las tiendas departamentales es que ni ellos, y mucho menos la gente, se encontraba enterada que el refrigerador que venden o que pensaban adquirir, ahorra aproximadamente un 30% en el consumo de energía eléctrica con respecto a los modelos de refrigeradores más viejos; ya que la mayoría de la gente solamente se fija que el refrigerador cuente con las mismas dimensiones que el lugar en el hogar a donde será destinado.

Figura 3.1. Porcentaje de ventas de refrigeradores domésticos en el año 2001.



(Fuente: Elaboración propia con datos de diferentes tiendas departamentales).

3.3. Consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos.

Todos los refrigeradores que se venden en México a partir del 2000 consumirán, para un mismo servicio, un 30% menos de energía que uno viejo, con más de 10 años de uso, de la misma capacidad y trabajando en buen estado¹⁸. Por esto es importante determinar el consumo total de energía del parque de refrigeradores que existe en México y establecer el posible ahorro de energía eléctrica si se llevará a cabo una sustitución de los refrigeradores antiguos, por más modernos de alta eficiencia energética.

Para realizar este análisis se utilizaron los datos de ventas de refrigeradores domésticos y su antigüedad descritos en puntos anteriores de este capítulo. Al calcular los consumos de energía, es preciso señalar las consideraciones establecidas; para los modelos del año 2001, se manejaron los consumos promedios de energía de las diferentes marcas de refrigeradores mostrados en la tabla 3.1; a los modelos de refrigeradores del año 1995 hasta el 2000 se les consideró un consumo de energía del 30% más que los consumos del 2001, para los modelos comprendidos entre los años 1994 y anteriores manejaron consumos de energía mayor a los del 2001 en un 60%.

Estas consideraciones se basan en los estudios presentados por la CONAE¹⁹ con respecto al consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.2, y se muestra el consumo de energía en cada Estado de la República y a nivel nacional, así como la aportación de los refrigeradores por intervalo de antigüedad.

Analizando los datos de la tabla 3.2 se encuentra que el consumo de energía eléctrica por refrigeración doméstica a nivel nacional, es aproximadamente 11.7 TWh/año; casi 18 veces el consumo de energía eléctrica en los hogares de Tlaxcala y Durango en el 2001. De la misma tabla se puede precisar que los Estados que tienen los mayores consumos de energía eléctrica por el uso de refrigeradores son Chihuahua, Distrito federal, Jalisco, Estado de México, Baja California, Guanajuato, Tamaulipas y Nuevo León.

Observando el consumo de estos 8 Estados se encuentra que utilizan más del 50% del total de energía eléctrica que es destinada a refrigeración doméstica en todo el país; mientras que Estados como Baja California Sur, Campeche, Colima y Tlaxcala consumen menos del 2% de esta energía. Estos indicadores son importantes para el estudio, ya que ahora se pueden ubicar las zonas del país en donde se podría comenzar a implementar un programa de sustitución de refrigeradores domésticos.

Cabe mencionar que los niveles mayores del consumo de electricidad se presentan el casi todos los Estados que tienen el mayor número de refrigeradores, lo cual era de

¹⁸ CONAE (2003), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Boletín de prensa. México, D.F. Abril de 2003.

¹⁹ Idem CONAE (2003).

esperarse; ya que mientras mayor es el número de unidades, mayor es el consumo de electricidad.

Tabla 3.2. Consumo de energía eléctrica del parque de refrigeradores domésticos en México; datos por Estado y totales nacionales.

Estado	Consumo de energía (GWh/año)					Consumo Total	% del total
	Año de comercialización del refrigerador						
	2001	1995-2000	1991-1994	1981-1990	1980 y anteriores		
Aguascalientes	8.37	47.77	15.11	35.03	20.02	126.3	1.1
Baja California	27.89	159.73	50.19	116.95	66.83	421.6	3.6
Baja California sur	3.95	23.08	10.90	18.82	10.75	67.5	0.6
Campeche	6.13	33.25	1.92	19.85	11.35	72.5	0.6
Coahuila	26.41	149.49	34.67	102.98	58.84	372.4	3.2
Colima	4.95	28.54	13.39	23.23	13.27	83.4	0.7
Chiapas	6.63	36.84	80.03	63.00	36.00	222.5	1.9
Chihuahua	35.35	202.39	46.36	139.11	79.49	502.7	4.3
Distrito Federal	104.77	613.61	90.37	395.36	225.92	1430.0	12.2
Durango	8.13	47.45	46.80	51.53	29.44	183.4	1.6
Guanajuato	29.46	173.39	72.90	136.64	78.08	490.5	4.2
Guerrero	17.72	102.41	34.38	76.14	43.51	274.2	2.3
Hidalgo	9.82	58.18	32.81	50.25	28.71	179.8	1.5
Jalisco	62.98	367.23	88.32	254.63	145.50	918.7	7.9
México (Estado de)	105.53	618.96	126.04	417.16	238.38	1506.1	12.9
Michoacán	25.84	152.78	60.33	118.35	67.63	424.9	3.6
Morelos	14.50	85.41	15.89	56.78	32.45	205.0	1.8
Nayarit	7.82	46.45	14.45	33.93	19.39	122.0	1.0
Nuevo León	45.26	266.09	48.88	176.54	100.88	637.7	5.5
Oaxaca	11.89	69.24	39.30	59.93	34.24	214.6	1.8
Puebla	20.74	122.02	65.58	103.67	59.24	371.3	3.2
Querétaro	11.16	64.01	12.87	43.06	24.60	155.7	1.3
Quintana Roo	7.84	45.16	7.96	29.78	17.02	107.8	0.9
San Luis Potosí	13.47	79.67	35.39	63.79	36.45	228.8	2.0
Sinaloa	26.13	151.33	33.27	103.28	59.02	373.0	3.2
Sonora	25.60	146.49	28.85	98.22	56.12	355.3	3.0
Tabasco	9.90	57.28	34.99	50.88	29.08	182.1	1.6
Tamaulipas	25.32	147.20	61.48	115.79	66.17	416.0	3.6
Tlaxcala	3.45	20.34	14.09	18.94	10.82	67.6	0.6
Veracruz	45.38	264.91	62.41	183.00	104.57	660.3	5.6
Yucatán	10.80	60.11	23.82	46.60	26.63	168.0	1.4
Zacatecas	8.92	50.61	24.46	41.56	23.75	149.3	1.3
Totales	772	4,491	1,328	3,245	1,854	11,691	

(Fuente: Elaboración propia).

Otro punto importante a señalar son los Estados que cuentan con más refrigeradores de baja eficiencia, principalmente porque este indicador también servirá para saber cuales zonas o Estados del país tienen un buen potencial de ahorro de energía. Dentro de los Estados que cuentan con un mayor parque de refrigeradores de baja eficiencia se encuentran Chiapas, Durango, Michoacán, Puebla, Tabasco, Tamaulipas y Tlaxcala. Estos resultados y los indicadores anteriores de los Estados con el

mayor número de refrigeradores, servirán para comenzar a definir que parámetro es más importante dentro del programa de sustitución de refrigeradores.

Los consumos de energía de la tabla 3.2 indican que los refrigeradores de alta eficiencia consumen el 6.6% de la energía total destinada al concepto de refrigeración, mientras que los refrigeradores comercializados en los años 1995 a 2000, consumen el 38.42% del total; y los modelos de refrigeradores de 1994 y anteriores emplean el 54.98% de la energía; demostrando la gran cantidad de energía que se puede ahorrar.

3.4. Potencial de ahorro de energía eléctrica por sustitución de refrigeradores y propuesta gubernamental.

Si se implementara un mecanismo que permitiese la sustitución de todos los refrigeradores anteriores al 2001 y suponiendo el mismo número de unidades, el consumo total de energía eléctrica por concepto de refrigeración doméstica se estimaría una reducción de 5.2 TWh/año, es decir, 44.5% menor al actual (Tabla 3.3). Esta cifra permitiría liberar una capacidad eléctrica equivalente a 1000 MWe si se considera un uso diario de 12 horas.

Evidentemente, un programa más realista se orientaría a la renovación de los refrigeradores en un período más amplio, así, por ejemplo, si se considera un periodo de 5 años; el potencial de ahorro de energía eléctrica es de alrededor de 1 TWh/año y una capacidad cercana a 200 MWe, lo que es muy interesante para el subsidio que otorga el país en la energía eléctrica y para beneficio de las economías familiares.

Se piensa en diferentes mecanismos para apoyar la sustitución de los refrigeradores. Se propone por ejemplo, iniciar un programa gubernamental en los Estados de mayor consumo de energía eléctrica y con climas más cálidos, como Chihuahua, Tamaulipas o Jalisco en donde se tiene un refrigerador por cada 4 personas y casi en su totalidad el territorio cuenta con electricidad, lo cual es un indicativo de que el poder adquisitivo de las personas es mayor. Entonces, si se estableciera un financiamiento hacia los refrigeradores, éste se podría cubrir en su totalidad, ya sea a través de un préstamo sin intereses, e ir pagando por medio del recibo de la compañía eléctrica en periodos de 1, 2 ó 3 años como máximo. El programa de sustitución de refrigeradores en estas regiones, arrojará un beneficio para el país, ya que se dejará de producir una cantidad importante de electricidad, o en su defecto los niveles de generación pueden seguir siendo los mismos, pero ahora cubriría un mayor número de comunidades, que actualmente no tienen acceso a la energía eléctrica.

Posteriormente, el programa de sustitución de refrigeradores podría cubrir los Estados con menor número de unidades como Chiapas, Puebla o Tlaxcala, los cuales presentan dentro de su parque de refrigeradores una mayor cantidad de éstos con eficiencias energéticas bastantes pobres.

Otro posible mecanismo para la implementación del programa, sería enfocarlo a la sustitución acelerada de los refrigeradores domésticos pertenecientes a los nichos más antiguos, ya que su consumo total actual es muy importante y la reducción de éste, repercutiría en un ahorro importante para el país. El programa de sustitución podría estar basado en un financiamiento con respaldo gubernamental a la adquisición inicial, para paliar el monto de la inversión inicial. El crédito sería abonado en parcialidades que podría ser cobradas directamente en el recibo de las compañías suministradoras de electricidad, en un plazo adecuado.

Cabe señalar que programas de este tipo en México ya se han dado para introducir las lámparas fluorescentes compactas, aislar techos de casas en zonas de clima muy cálido, la sustitución de unidades de aire acondicionado antiguas por eficientes o el cambio de vehículos de mejor eficiencia para el transporte de pasajeros. En estos dos últimos ejemplos, el programa obliga al solicitante a entregar su equipo viejo, para que éste sea destruido. Es conveniente señalar que la destrucción de los refrigeradores antiguos debe hacerse en condiciones adecuadas, conforme las normas mexicanas pertinentes, ya que muchos de éstos trabajan aún con fluidos refrigerantes clorofluorocarbonados.

Tabla 3.3. Estimación del potencial de ahorro de energía eléctrica por sustitución de refrigeradores en México.

Antigüedad de refrigerador	Consumo actual		Consumo Posible		Ahorro	
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%
2001	772.1	6.6	772.1	11.9		
1995-2000	4,491.4	38.4	3,144.0	48.5	1,347.4	30.0
1994	6,427.2	55.0	2,570.9	39.6	3,856.3	60.0
Total	11,690.7	100.0	6,487.0	100.0	5,203.7	44.5

(Fuente: Elaboración propia).

Para Estados del país como; Chihuahua, Distrito Federal, Jalisco, Estado de México, Baja California, Guanajuato, Tamaulipas y Nuevo León representará un ahorro de energía de aproximadamente 500 GWh/año. Con esta estimación del ahorro es importante en un futuro tratar de establecer una reforma para la actualización del parque de refrigeradores domésticos.

Por último, es preciso señalar que el tentador potencial de ahorro de energía en los refrigeradores, puede traer algunos problemas con respecto al manejo de los fluidos refrigerantes y los desperdicios generados con la sustitución de los refrigeradores; ya que la gran mayoría de éstos utilizan freones o fluidos refrigerantes como los clorofluorocarbonados. Por lo tanto, si un refrigerador sale de circulación, se tendrá que desarrollar un programa para el manejo, almacenamiento y tratamiento de los fluidos refrigerantes.

Por todo lo anterior, se puede decir que actualmente es necesario implementar el programa de sustitución acelerada de los refrigeradores domésticos de baja eficiencia, debido principalmente a los problemas que existen hoy en día con la generación de energía eléctrica y sus reformas.

3.5. Resumen.

El potencial de ahorro de energía se realizó mediante una evaluación a nivel nacional del parque de refrigeradores, considerando los consumos de energía reportados por los fabricantes para los modelos del año 2001 (Tabla 3.1), y mediante las suposiciones de consumos descritas en el tema 3.3, se calcularon los demás consumos para los modelos de refrigeradores anteriores; dando como resultado que existe un ahorro considerable si se sustituyeran los refrigeradores viejos, por nuevos de mayor eficiencia. Para realizar la sustitución del parque de refrigeradores viejos, se propuso la implementación de un programa de financiamiento por parte del gobierno federal para la compra de equipos nuevos.

Dentro de este estudio, se determinaron los Estados de la República en donde se podría implementar dicho programa de sustitución de refrigeradores, basándose en el número de refrigeradores que existen en el Estado, el número de habitantes, la condición socioeconómica de las localidades y los límites climáticos que existen durante la mayor parte del año. Cabe mencionar que actualmente se encuentra desarrollándose un programa piloto de sustitución de refrigeradores en el Estado de Chihuahua, por medio del FIDE y la Comisión Federal de Electricidad²⁰, que se basa en consumos de energía de los refrigeradores reportados de manera in situ.

Los consumos determinados en este estudio, permiten plantear un potencial de ahorro de energía, el cual si bien, no se podría considerar tan preciso, tampoco es un aproximación demasiado aventurada, y puede ofrecer a las personas que se interesen posteriormente en el tema, una visión general y algunas tendencias que existirán con el paso de los años en relación a las ventas, producción, exportaciones y consumos de los nuevos refrigeradores.

²⁰ ATPAE 2003. Memorias del XXII Seminario nacional sobre el uso racional y eficiente de la energía y exposición de equipos y servicios. Agosto 2003. Olvera, Luis. Programa Piloto Para Sustitución de Refrigeradores Domésticos.

4. Descripción y Puesta en Marcha del Laboratorio de Ambiente Controlado.

4.1. Introducción.

En este punto del trabajo se llevará a cabo la puesta en marcha y pruebas preliminares del Laboratorio de ambiente Controlado (LAC), con el objetivo de tener las condiciones térmicas que marca la Norma Oficial para los laboratorios de pruebas²¹. Para establecer dichas condiciones térmicas se desarrolló una metodología con la finalidad de obtener una estabilidad de temperatura y humedad dentro del LAC. También en este apartado se presentarán las características técnicas del laboratorio, los elementos que lo constituyen, el lugar en donde se construyó y el equipo con el que se cuenta actualmente; y también se mostraran las gráficas de los comportamientos térmicos que se presentaron en la cámara fría al ejecutar las pruebas preliminares de estabilidad.

Al tener las condiciones óptimas de operación del LAC, se garantiza que los resultados de las pruebas de eficiencia energética, aplicadas a los refrigeradores domésticos serán confiables; dichas pruebas se describirán más adelante en el punto 5 y 6 de este trabajo de investigación.

4.2. Descripción del LAC.

En la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa se diseñó y construyó un laboratorio que se conoce con el nombre la Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC), en dicho laboratorio se llevan a cabo una serie de pruebas a equipos de refrigeración y aire acondicionado basados en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes²². También dicho laboratorio puede funcionar para determinar las condiciones de confort higro-térmico en una muestra de personas. En el presente trabajo de investigación solo se contemplarán los temas que corresponden a la puesta en marcha del laboratorio, estudio del parque de refrigeradores domésticos y las pruebas preliminares aplicadas a los refrigeradores de mayor uso en la República Mexicana; ya que la versatilidad con la que se cuenta dentro del laboratorio puede servir también para llevar a cabo el estudio de los aspectos relacionados con la envolvente de la edificación y su interrelación con los factores que afectan el confort higrotérmico y lumínico con el empleo de la energía; y con ello se busca reducir o eliminar el uso de energéticos convencionales, utilizando los denominados alternativos, como la energía solar o la eólica. Por otra parte se pueden estudiar los dispositivos y sistemas de aire acondicionado que se usan en las edificaciones básicamente para el confort humano.

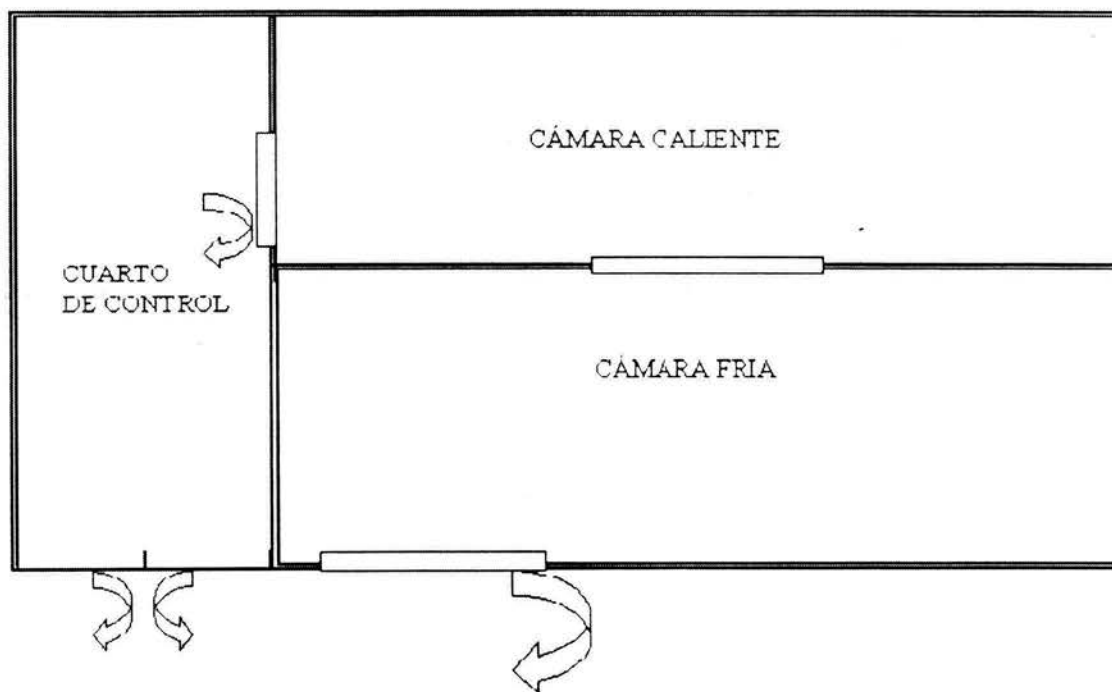
²¹ Norma Oficial Mexicana. NMX-I-007/49-1984. Equipos y componentes electrónicos. Métodos de pruebas ambientales y de durabilidad. Parte 49 - Prueba Z/AD: Prueba cíclica compuesta de temperatura y humedad.

²² Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002; Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos – Límite, métodos de prueba y etiquetado. Diario Oficial, México D.F., 15 de Enero del 2003.

El LAC se encuentra en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Edificio T, cubículo 029. Las dimensiones son 7.5 x 8.18 metros y 3.12 metros de altura. El espacio tiene acceso a una azotea en el techo por medio de dos domos. La cámara es de tipo calorímetro la cual tiene una envolvente hermética y un colchón de aire de aproximadamente 5 cm entre la estructura existente y la cámara. Esta forma de construcción permite climatizar en forma estable el interior de la cámara y disponer de suficiente espacio dentro de las cámaras (Figura 4.1).

En la cámara calorimétrica se cuenta con un espacio climatizado con una carga térmica artificial, en la que se coloca la descarga del equipo de prueba de aire acondicionado. En este equipo es posible monitorear la temperatura de bulbo seco y húmedo, así como la humedad relativa para las condiciones a las que se está trabajando.

Figura 4.1. Distribución de las cámaras dentro del LAC.



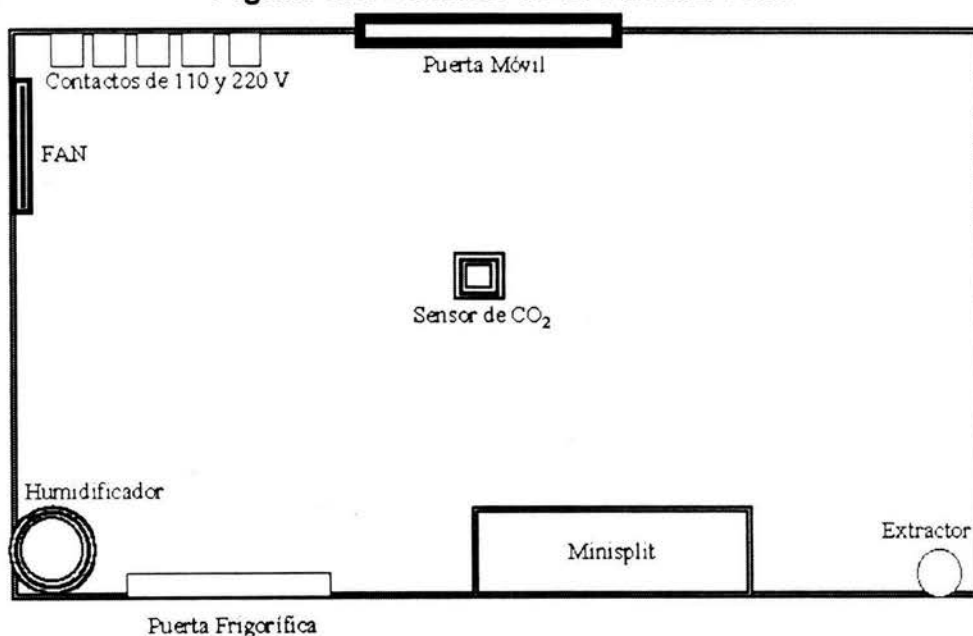
Fuente: Elaboración propia.

El sistema constructivo de las paredes y techos emplea una placa multipanel de 4 pulgadas de espesor, el piso cuenta con un aislamiento de 4 pulgadas de espesor, con un firme de concreto de 8 cm, con el fin de recibir el acabado final. Esta doble capa da un mayor aislamiento térmico hacia las condiciones externas. La superficie total del LAC es de 61.35 m² y ha sido dividida en dos áreas de experimentación y un cuarto de control. Las dos áreas experimentales se han denominado "cámara caliente y ambiental" y "cámara fría y de confort".

4.2.1. Cámara fría y de confort.

Sus dimensiones son de 3.74 x 5.96 metros, para una superficie de 22.3 m², con una altura interior del piso al plafond de 2.44 metros. En esta cámara se realizarán las pruebas de confort higro-térmico en personas y a los equipos de aire acondicionado. Las temperaturas podrán establecerse desde 15°C hasta 50°C y el nivel de humedad relativa se podrá fijar de 10 a 90%. La puerta de acceso es de tipo frigorífica, completamente hermética y resistente a las bajas temperaturas, tiene una ventana hermética, de triple vidrio para bajas temperaturas para mantener contacto visual entre el cuarto de control y la cámara fría (Figura 4.2). El acabado final que presenta la cámara en la superficie interior es de multipanel tipo lámina galvanizada con un recubrimiento de pintura color beige, el piso es de tipo antiderrapante de euzcola, la parte superior tiene colocada un plafond falso con acabado de perlita volcánica sostenido con una estructura de aluminio. En el espacio entre el plafond y el techo están colocados los conductos del cableado y los sensores de instrumentación y las líneas de alimentación van a nivel del piso en un zoclo.

Figura 4.2. Detalles de la Cámara Fría.



Fuente: Elaboración propia.

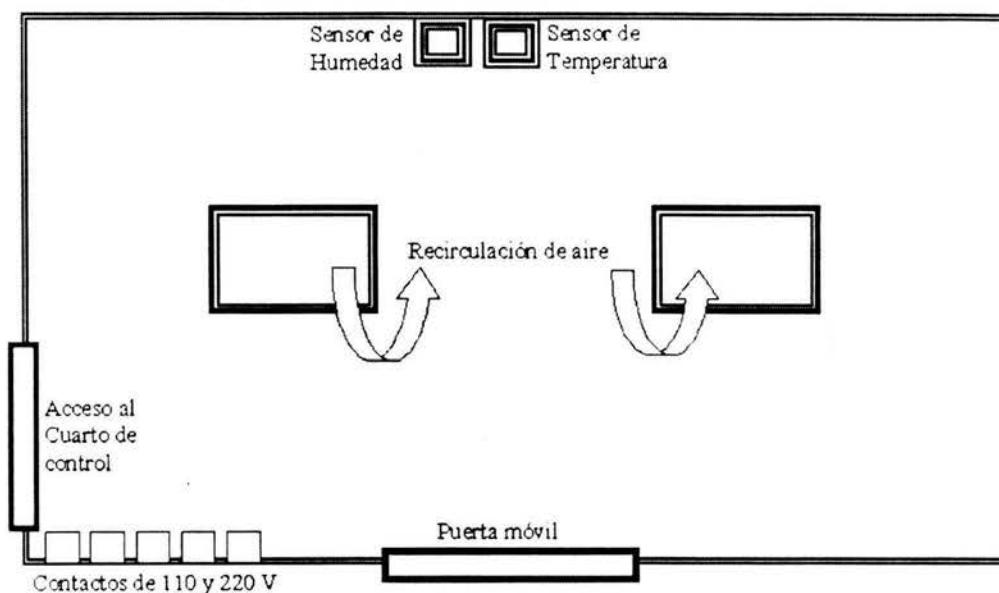
4.2.2. Cámara caliente y ambiental.

Se encuentra ubicada en el espacio norte del LAC y mide 3.65 x 5.96 metros, para dar una superficie de 21.75 m². Cuenta con dos salidas de ductos a la azotea atravesando los domos existentes. Al igual que la superficie de la cámara fría, se encuentra aislado en su totalidad con multipanel de 4 pulgadas de espesor, con acabado por ambos lados de

lámina galvanizada con pintura color beige y el piso es del mismo material que el de la cámara fría (Figura 4.3).

En esta cámara se realizan las pruebas a los equipos de aire acondicionado tipo central y tipo ventana; así como a los refrigeradores y congeladores de tipo domestico. La temperatura de la cámara se puede hacer variar de 0°C a 50°C. Tiene dos accesos, uno a través del cuarto de control, mediante una puerta hermética y la otra a través de la cámara fría mediante un sistema especial de muro móvil. Por esta última se introduce el equipo a monitorear, cuenta con una ventana hermética para mantener contacto visual con el cuarto de control. En esta cámara las instalaciones de los equipos de medición son visibles y el equipo fijo de climatización de este espacio se encuentra ubicado fuera del laboratorio.

Figura 4.3. Detalles de la Cámara Caliente.

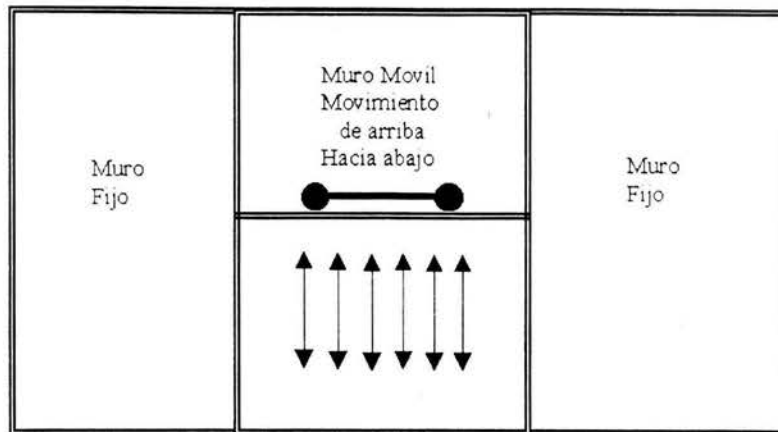


Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Muro móvil.

El muro que separa las cámaras fría y caliente fue diseñado para dar la versatilidad necesaria al LAC y a todas las posibles pruebas que se pueden llevar a cabo (Figura 4.4), dicha versatilidad consiste en que el muro puede servir para simular una ventana en donde se podrá colocar un equipo de aire acondicionado, y someterlo a pruebas también de eficiencia energética. Las pruebas a los refrigeradores y congeladores domésticos se realizarán en la cámara caliente y para las pruebas de confort se utiliza la cámara fría, por ello las dos cámaras deben estar aisladas una de otra. En este caso, el muro debe poderse abrir dado que por ahí pasarán los equipos a probar. Finalmente, cuando se prueban equipos de aire acondicionado, el equipo debe quedar a la altura del muro.

Figura 4.4. Muro móvil.

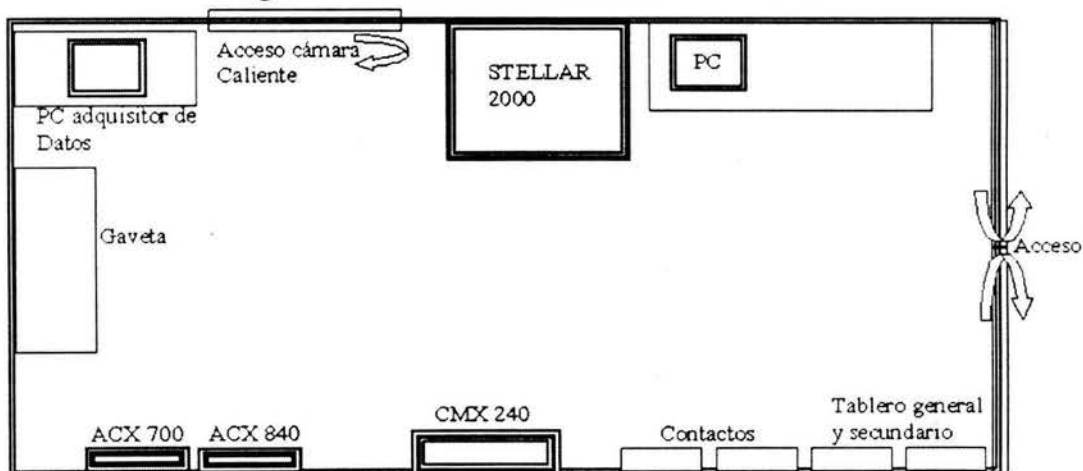


Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Cuarto de control.

Se encuentra ubicado en la parte poniente del LAC a todo lo largo; sus dimensiones son de 1.80 x 7.49 metros, lo que representa un área de 13.50 m², con una altura interior de 3.12 metros. Este espacio se utiliza para la colocación de los equipos de monitoreo, control, medición y el equipo de climatización de la cámara fría y de confort. Está diseñado para que trabajen dos personas durante las pruebas, con acceso visual a ambas cámaras. El equipo de monitoreo, adquisición y control consta de dos computadoras, una consola de control y el equipo de almacenamiento de datos (Figura 4.5).

Figura 4.5. Detalles del Cuarto de Control.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Instrumentación y control.

El lugar desde el cual se manejan las condiciones de operación de las cámaras se denomina estación de trabajo (PC) y tiene como función monitorear y visualizar los diferentes controladores y adquisidores de datos. A través de la estación de trabajo se realiza la programación del funcionamiento de las cámaras, así como la generación de los reportes obtenidos del monitoreo. Los controladores que maneja la estación de trabajo tienen las siguientes funciones:

- Controlar el acceso a los cuartos de control y cuarto frío.
- Monitorear y controlar el Chiller.
- Monitorear la manejadora de aire (UMA).
- Controlar el arranque y paro de la UMA.
- Controlar la apertura o cierre de la válvula de agua helada.
- Controlar el ventilador que acondiciona aire caliente para la cámara fría.
- Controlar el extractor y del humidificador.
- Controlar las temperaturas de las cámaras caliente y fría.

4.2.6. Instrumentación del laboratorio.

Cuarto de control (CC).

Dentro del cuarto de control se localizan los equipos de monitoreo, control, medición y adquisición de datos (Software Infinity); así como el equipo fijo de aclimatación de la cámara fría y de confort. El equipo de monitoreo y control consta de dos computadoras en red, una consola de control y un equipo de almacenamiento de datos para la adquisición de las condiciones térmicas de cada cámara.

Cámara fría (CF).

El cuarto de control y la cámara fría cuentan con una ventana fija de (0.5m X 0.3m) que posee tres cristales transparentes de 6 mm de espesor, separados por un hueco de aire, esta cámara tiene un plafón falso de color blanco; al ras del plafón se localizan dos rejillas conectadas a un ducto que pasa por arriba del plafón, que recircula el aire calentándolo previamente en una unidad York Stellar 2000, la cual tiene la capacidad de calentar el aire hasta una temperatura de 50 °C como máximo. Existe un extractor de aire colocado en una esquina de la cámara, con la finalidad de retirar el aire cuando se alcance niveles tóxicos de CO₂, en la esquina superior de la puerta que da al pasillo existe un humidificador, con la finalidad de variar la humedad relativa de la cámara, para simular diferentes condiciones de operación en los equipos. A un lado de la puerta que comunica al pasillo; en la parte superior se localiza un sistema de aire acondicionado del tipo Mini Split, el cual tiene la función de enfriar la cámara fría, siendo su capacidad de hasta un mínimo de 15 °C, este equipo también puede funcionar como una bomba de calor para

acondicionar hasta una temperatura máxima de 40°C. La cámara fría cuenta con la siguiente instrumentación:

- Humidificador.
- Sensor de CO₂.
- 9 Termistores.
- 1 Sensor de temperatura de pared.
- 1 Sensor de humedad.
- 1 Mini Split.

Cámara caliente (CCT).

La cámara caliente cuenta con un conducto de inyección de aire frío que se encuentra en el techo, la descarga se realiza a través de dos rejillas, en esta cámara no existe ningún plafón, los ductos provienen del sistema central de enfriamiento que se encuentra ubicado en la azotea del primer piso del edificio. En esta cámara se recircula el aire de enfriamiento mediante un conducto que succiona desde la pared inferior de la cámara. En la parte superior de la cámara se hallan las charolas de cableado, de donde cuelgan los termistores que monitorean la temperatura. Existe también una puerta que comunica al cuarto de control y otra puerta móvil que interconecta las dos cámaras. El equipo con el que cuenta la cámara caliente es el siguiente:

- 9 Termistores.
- 1 Sensor de temperatura de pared.
- 1 Sensor de humedad.

Todos los Termistores de ambas cámaras se sometieron a pruebas de calibración, rangos máximos y mínimos de operación y tiempo de respuesta a las señales²³. Estas pruebas fueron aprobadas satisfactoriamente por cada uno de los Termistores y la calibración de estos aparatos es cada 5 años, lo cual garantiza que durante la realización de las pruebas de eficiencia energética los resultados obtenidos son confiables.

Área de equipo fijo.

Esta área se encuentra en el primer nivel, aprovechando un cubo de iluminación del edificio. Se tiene acceso desde el LAC a través de dos domos y para el personal a través de una puerta de acceso en el primer piso. Aquí se ubican los equipos para el acondicionamiento de las cámaras; tales como la unidad de refrigeración, unidad

²³ Bernal Soriano Alberto. 2002. Análisis de la instrumentación y del control del Laboratorio de Ambiente Controlado". Informe de Seminario de Proyectos de Ingeniería en Energía. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. Mayo 2002.

manejadora de agua helada, bomba de agua fría, condensador de la unidad mini-split de la cámara fría, así como sus interruptores principales.

Equipos e instalaciones.

Para alcanzar las condiciones de temperatura y humedad antes mencionadas en cada una de las cámaras, se requiere del equipo que se enlista a continuación.

En la cámara fría y de confort:

- Unidad manejadora de aire de enfriamiento con bomba de calor.
- Un "coil" enfriador.
- Sistema mini-split
- Humidificador.

En la cámara caliente:

- Unidad manejadora de aire caliente.
- Unidad integral enfriadora de agua.
- Motobomba.

Para la instalación de potencia, la alimentación proveniente de la subestación de la universidad y llega a un tablero principal; de ahí se distribuye en 17 circuitos, de los cuales 3 alimentan un tablero de instalación de equipo de aire acondicionado fijo; 2 circuitos alimentan un tablero para el sistema mini-split. Los circuitos restantes son para alimentar el cuarto de control, las cámaras y la iluminación. Tres de los circuitos del tablero principal alimentan al tablero de tensión regulada que contará con un cambiador de derivaciones de $\pm 10\%$. Este tablero cuenta con 6 circuitos para alimentar los contactos de ambas cámaras.

Los requerimientos hidráulicos y sanitarios son mínimos. En la cámara fría se requiere de una alimentación de agua para el humidificador. El desagüe del mini-split va a una tubería que se une con un cespól del cuarto de control y sale al drenaje externo. Para el monitoreo y control se han previsto ductos cuadrados para la colocación del cableado de instrumentación y control a lo largo de las cámaras, suspendidas de los plafones.

4.3. Puesta en marcha del Laboratorio de Ambiente Controlado.

Una de las medidas fundamentales para el diseño o construcción de equipos de intercambio de calor es la rapidez que existe en la transferencia de energía. En un equipo que presente un intercambio de calor con el medio circundante, se tendrán que considerar parámetros de suma importancia para su diseño, básicamente el tamaño del equipo

usado en la transferencia de calor, los materiales empleados para su construcción y el equipo auxiliar requerido para su puesta en operación.

En la arquitectura del Laboratorio de Ambiente Controlado se consideró que en los espacios de trabajo (cámaras) se necesitan conocer cuáles son las pérdidas de energía que se presentan en las paredes, el plafón y los pisos; así como también ponderar algunas fugas que pudieran existir. Para conocer la magnitud de estas pérdidas se desarrolló la caracterización del equipo que existe en el laboratorio²⁴. En esta parte se describirá únicamente la metodología empleada para determinar los niveles de estabilidad de las cámaras y se reportan los resultados que se encontraron. En la puesta en marcha de Laboratorio de Ambiente Controlado se verificarán las condiciones de operación a la que se encuentran los equipos instalados y su funcionamiento.

Como primera prueba, se verificaron las condiciones de temperatura y humedad en la cámara fría conservando un estado de reposo en un periodo de por lo menos 8 horas al día. Se consideró este periodo de tiempo debido a que de esta forma se podrán observar los cambios en el aumento o disminución de temperatura en la mañana, tarde y parte de la noche, así como también porque ese es el tiempo aproximado que durarán las pruebas aplicadas a los refrigeradores domésticos.

Con los resultados encontrados, se podrá determinar cuál es el intervalo de tiempo que presenta menos variaciones en el gradiente de temperatura y que mejor se adapta a las condiciones de operación del laboratorio de prueba, así mismo estar de acuerdo con lo que marca la norma²⁵. Para llevar a cabo esta parte experimental, se presenta una ruta crítica para verificar las condiciones de operación de la cámara fría en estado estable.

4.4. Pruebas de estabilidad de la cámara fría.

Se deberá ejecutar el programa Infinity (programa adquisidor de datos) para poder manejar cada parámetro de la cámara fría. Para correr una prueba en la cámara fría, primeramente se selecciona el botón "Sistema en operación" del panel principal y se establece la temperatura de consigna por medio del punto de control (set point). En este caso el set point se tomará a la temperatura ambiente que se encuentre la cámara en ese momento.

La prueba tendrá que transcurrir el tiempo programado de 8 horas, se observarán y registrarán las variaciones que presenta la temperatura. La variación de temperatura en las lecturas del termistor testigo tendrá que ser de ± 0.2 grados centígrados para ser aceptable y que cumpla con los requisitos que establece la norma oficial.

²⁴ González Roa José. 2001. Puesta en marcha y caracterización de las cámaras de Ambiente Controlado de la UAM-Iztapalapa. Informe de Seminario de Proyecto de Ingeniería en Energía. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F. Febrero 2001.

²⁵ Op. Cit. Norma Oficial Mexicana. NMX-I-007/49-1984.

Los reportes de las temperaturas de la cámara fría contendrán una lista de las temperaturas de los termistores, así como la humedad relativa que presenta la cámara fría. La adquisición de los datos generados se tendrán que descargar de la PC cada 4 horas, debido a que la memoria de almacenamiento solamente registra este tiempo. Con estos datos se desarrollarán las gráficas de temperaturas y humedad relativa para observar la estabilidad de la cámara fría y describir las primeras conclusiones.

La estabilidad de temperatura que se presenta para un día normal (figura 4.6) y otro más caluroso (figura 4.7), son del todo satisfactorias, ya que el intervalo de estabilidad que se presenta, es bastante aceptable (más de 12 horas). Este tiempo de estabilidad de temperatura, en comparación con el tiempo que tarda en realizarse la prueba a los refrigeradores domésticos, cubre los requisitos para realizar dicha prueba. Otra observación importante es el horario que más se adecúa para realizar las pruebas, ya que en las figuras se observa que después de las 4 primeras horas, la cámara es más estable, ya que presenta variaciones de temperatura menores a 0.01°C .

Analizando el periodo que se dejó estabilizar la cámara fría, la variación en la temperatura que se presentó fue de aproximadamente $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$; por lo que la condición de cuarto adiabático se presenta de forma adecuada y con ello se puede proceder a realizar las pruebas. Por último, es preciso señalar que la variación en la temperatura que se presenta, se puede atribuir a la homogeneidad de temperaturas dentro de la cámara fría y una mínima contribución de calor por medio de las paredes y techo ya que en los días que se realizaron las pruebas se presentó el mayor aumento de temperatura ambiente exterior al laboratorio. En un día con una temperatura promedio normal, las condiciones de estabilidad de la cámara son buenas para desarrollar las pruebas.

Los resultados del comportamiento de la humedad dentro de la cámara fría son aceptables en relación a las condiciones térmicas que establece la Norma Oficial²⁶ para las pruebas que se aplicarán a los refrigeradores domésticos. El intervalo de variación oscila dentro de 74.2% a 74.6% de humedad un día normal (figura 4.8) y de 73.9% y 74.1% en un día más caluroso (figura 4.9), lo cual representa una variación promedio de aproximadamente $\pm 0.3\%$. Esta variación en la humedad, a diferencia de los resultados encontrados para la temperatura, se puede deber a la precisión del equipo adquirente de datos, ya que es muy sensible a cualquier perturbación. Para corroborar la humedad, también se registró ésta través de un higrómetro manual, reportando una constante de 74% de humedad; con lo cual se aprueba la estabilidad de la humedad de la cámara fría.

²⁶ Op Cit. Norma Oficial NOM-015-ENER-2002.

Figura 4.6. Estabilidad de temperaturas de la cámara fría.

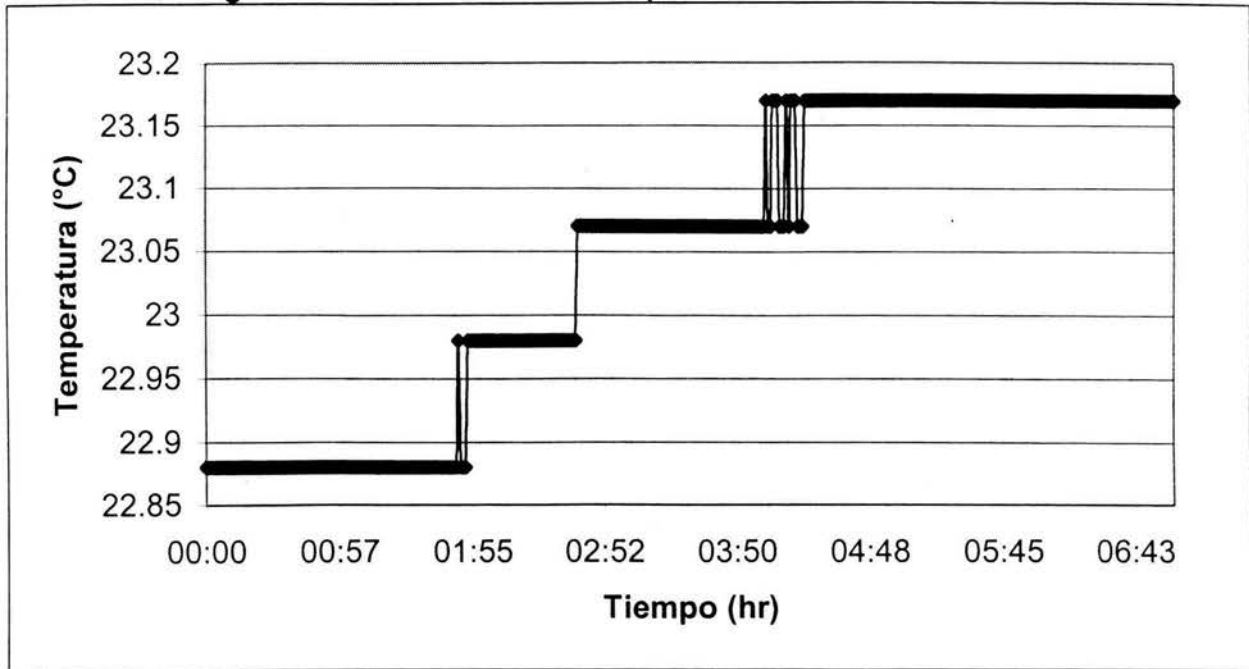


Figura 4.7. Estabilidad de temperaturas de la cámara fría.

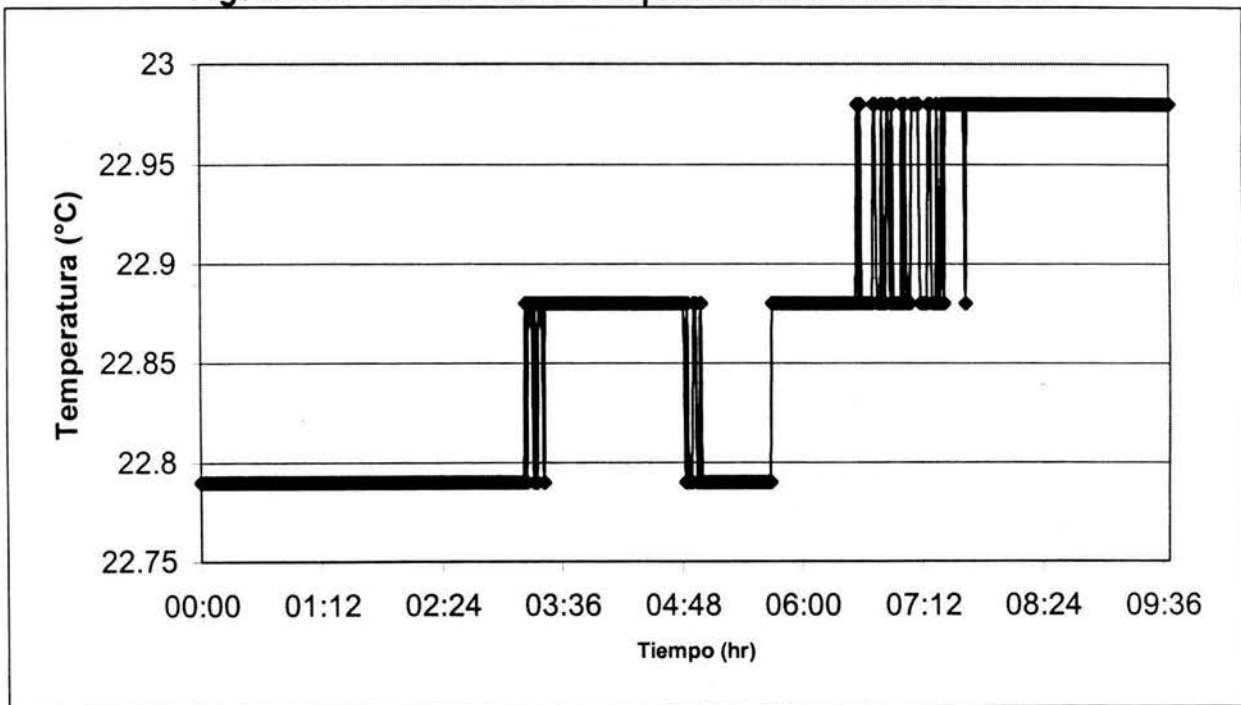


Figura 4.8. Estabilidad de humedad de la cámara fría.

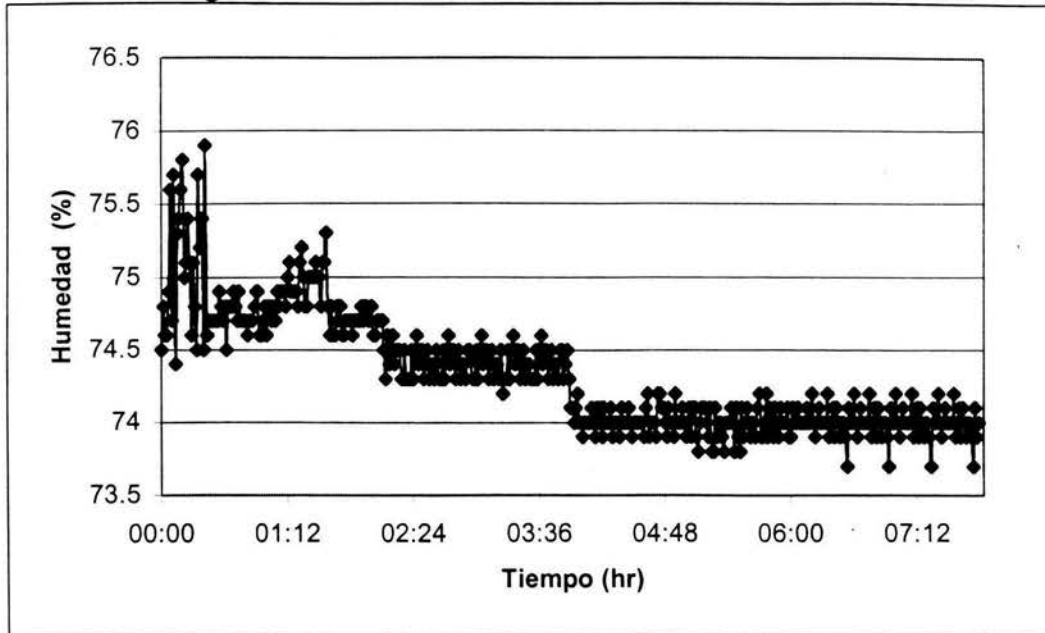
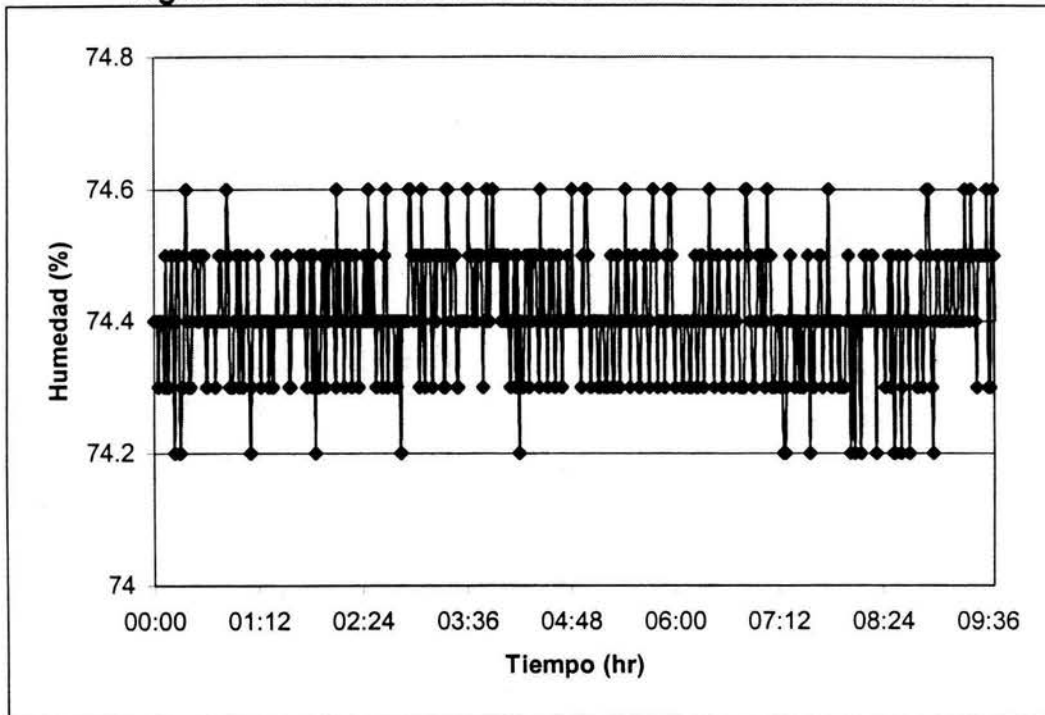


Figura 4.9. Estabilidad de humedad de la cámara fría.



El siguiente paso dentro de la puesta en marcha del laboratorio consiste en mantener constante la temperatura de consigna dentro de la cámara fría a través del sistema de calentamiento; esto quiere decir, el establecer la temperatura que marca la Norma²⁷ para las pruebas de eficiencia energética de los refrigeradores domésticos. Para desarrollar este punto también se describirá una ruta crítica como la presentada anteriormente para la estabilidad de temperatura y humedad.

4.5. Variación de temperatura en la cámara fría.

A través del programa Infinity se tienen accesos directos a la cámara fría, la cámara caliente, el sistema de operación y el sistema de acondicionamiento. Para correr una prueba en la cámara fría, primeramente se selecciona del panel principal, el botón cámara fría y se escoge la temperatura de consigna por medio del punto de control. Para esta prueba el punto de control (set point) se tomará a una temperatura de 32.2°C.

La prueba tendrá que transcurrir el tiempo de 8 a 12 horas, se observará y registrará el gradiente de temperaturas que se presenta en relación al set point establecido previamente (32.2°C). Este gradiente de temperatura tendrá que ser de ± 0.6 grados centígrados para que cumpla con los requisitos que se establecen en la Norma NOM-015-ENER-2002 para las pruebas de eficiencia energética de refrigeradores domésticos. Los resultados de la estabilidad de temperaturas (Figuras 4.10, 4.11 y 4.12) para los requisitos señalados en la Norma, muestran que se encuentran dentro de un rango aceptable.

Otra observación importante de las figuras 4.10, 4.11 y 4.12, es que a medida que el tiempo de prueba transcurría, la estabilidad de la cámara fría era mejor, ya que la oscilación de temperatura alrededor de los 32.2°C que se estipula como temperatura de referencia, mostraba un gradiente menor a $\pm 0.6^\circ\text{C}$; y a medida que transcurría más tiempo la prueba, el gradiente continuaba disminuyendo a casi $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Dentro de las mismas pruebas se observa que el promedio de temperatura durante todo el transcurso de la prueba fue de 32.21°C, que es la temperatura que se pretendía alcanzar y mantener durante toda la prueba

Con la condición de estabilidad térmica alcanzada dentro de la cámara fría, ahora ya se tiene el Laboratorio trabajando a las condiciones que marca la Norma para llevar a cabo las pruebas a los refrigeradores y se cumple otro objetivo específico importante dentro de este trabajo, el cual era la puesta en marcha de laboratorio, para poder realizar las pruebas a los refrigeradores domésticos.

²⁷ Op. Cit. Norma Oficial. NOM-015-ENER-2002.

Figura 4.10. Estabilidad de temperatura de la cámara fría (20/08/03).

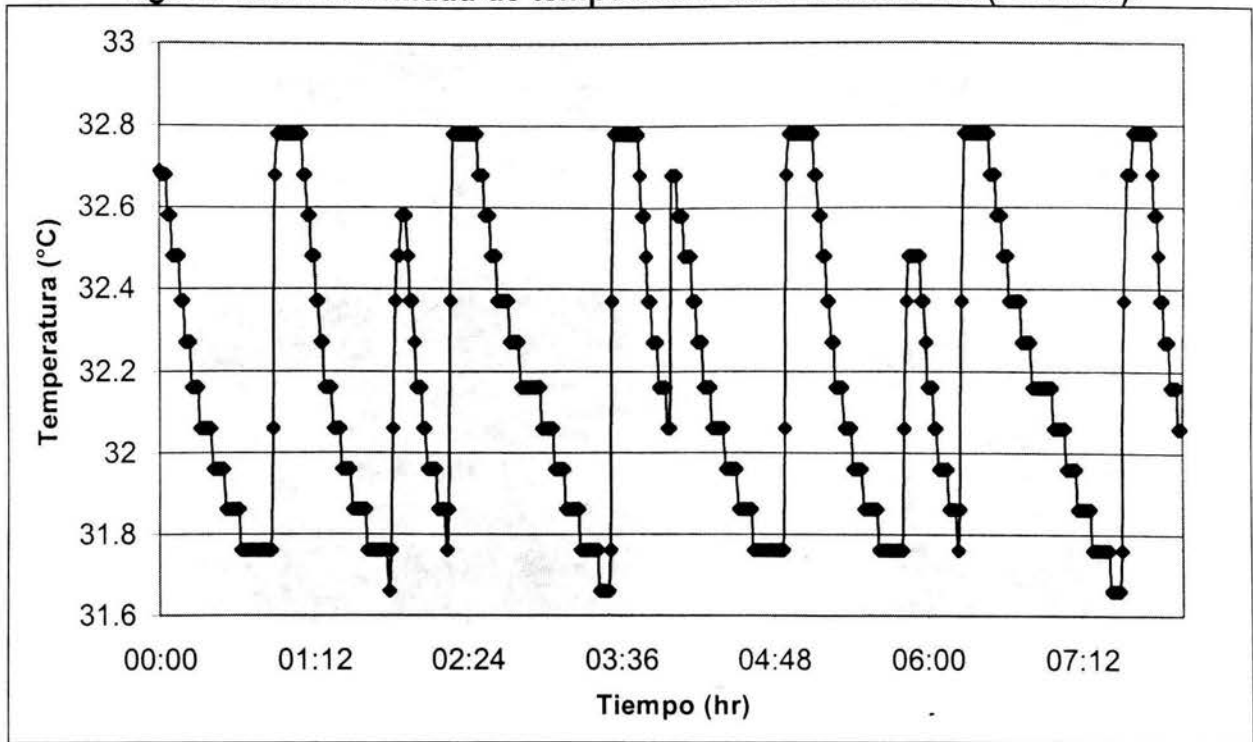


Figura 4.11. Estabilidad de temperatura de la cámara fría (21/08/03).

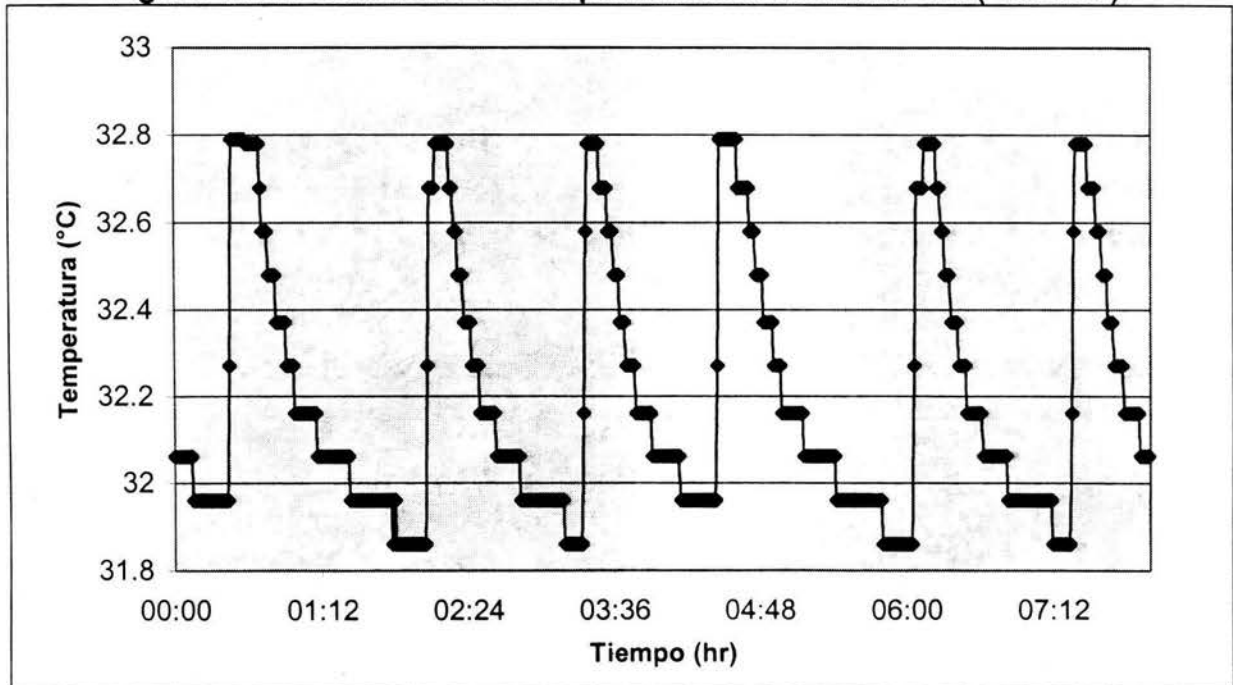
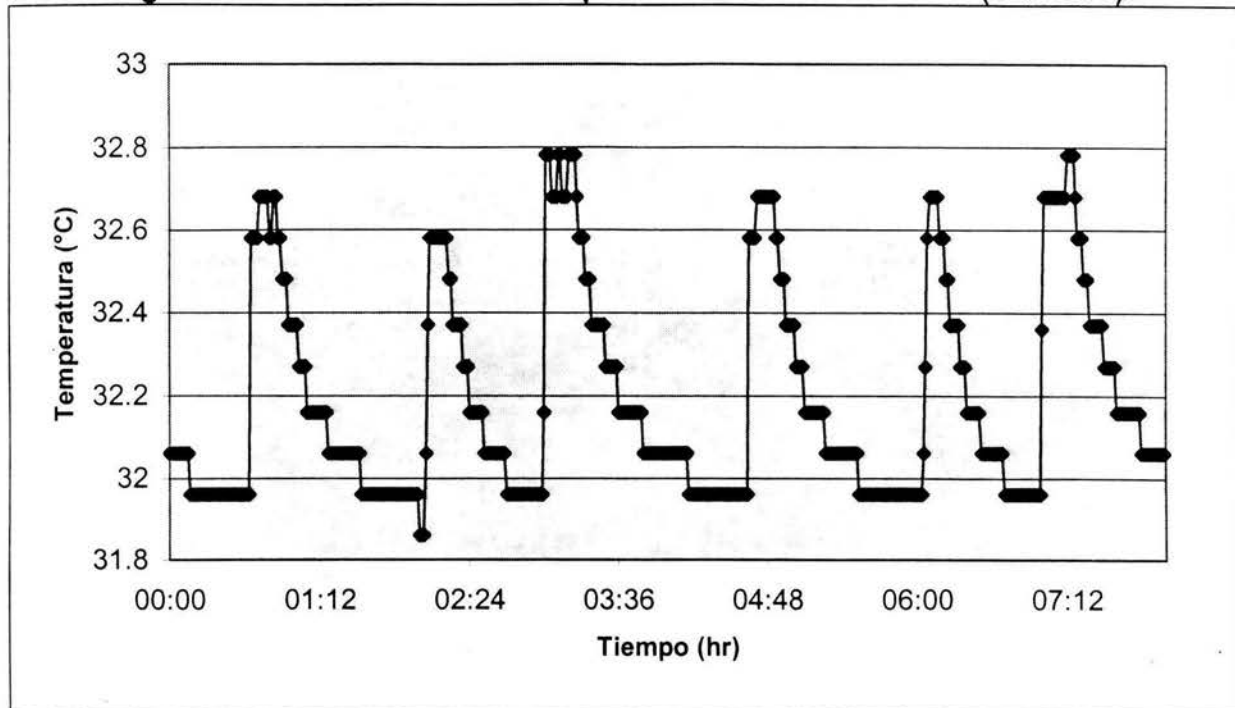


Figura 4.12. Estabilidad de temperatura de la cámara fría (22/08/03).



4.6. Resumen.

Con la puesta en marcha del Laboratorio de Ambiente Controlado a través de las pruebas de estabilidad térmica, se cumple otro objetivo de este trabajo de investigación, y da paso al desarrollo de la parte experimental que consiste en elaborar y aplicar las pruebas de eficiencia energética de los refrigeradores domésticos; lo cual se describirá en el tema siguiente. Es preciso señalar que las pruebas de estabilidad térmica se llevaron a cabo de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial vigente²⁸, para los laboratorios oficiales de pruebas, esto porque al cumplirse con los requisitos que marca la Norma, se aseguraría que la operación y los resultados de las pruebas realizadas a los refrigeradores domésticos tendrán una buena confiabilidad.

La primera parte de las pruebas, consistió en verificar si las instalaciones del Laboratorio de Ambiente Controlado cumplían con los requisitos marcados por la Norma, para las pérdidas de calor por fugas o intercambio de calor con las paredes adyacentes. Para determinar este tipo de pérdidas, se implementó una metodología (Tema 4.4) en donde se observa por medio de las figuras 4.6 y 4.7 que la cámara fría se mantiene a una temperatura de consigna durante un tiempo de más de 8 horas; con una variación en la

²⁸ Op. Cit. NOM-015-ENER-2002.

temperatura de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Esta variación se encuentra dentro del rango permitido por la Norma y el tiempo que dura la estabilidad también cumple los requisitos.

Otro punto que se consideró en este apartado de pruebas, fue la estabilidad en la humedad relativa (Figuras 4.8 y 4.9), ya que este parámetro servirá para futuros trabajos relacionados con el tema, debido a que en cada Estado del país se tiene una humedad relativa diferente, la cual afecta a la eficiencia con la que trabajan los refrigeradores. Al desarrollar las pruebas aplicadas a los refrigeradores, se manejara una humedad relativa fijada por la Norma Oficial.

Como segunda parte de estas pruebas, se desarrollo una metodología para la temperatura de consigna marcada por la Norma (Tema 4.5), esto con la finalidad de cumplir otro requisito de la Norma para las pruebas de eficiencia energética aplicadas a los refrigeradores. Las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 muestran la temperatura de consigna a la cual debe mantenerse la cámara fría (32.2°C) y sus fluctuaciones durante toda la prueba. Observando las figuras se perciben algunos picos que están muy cerca del límite establecido por la Norma ($32.2^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$), mientras que en la parte baja de las figuras se observa que la variación con respecto al punto de consigna es de 0.3°C . Este comportamiento en la temperatura se puede explicar por la inercia térmica que presentan los termistores al momento de reportar los valores, ya que siempre se está inyectando el aire caliente y, como se observa en las figuras, la forma de elevar la temperatura es muy rápida en comparación con el tiempo en el se alcanza la estabilidad en la cámara fría.

5. Descripción de pruebas experimentales de los refrigeradores domésticos.

5.1 Introducción.

Las pruebas aplicadas a los refrigeradores domésticos son de suma importancia para conocer el consumo real de energía eléctrica que tienen dichos aparatos dentro de los hogares, también sirven para estimar la eficiencia que presentan los refrigeradores y las condiciones a las que deben operar, en razón de las diferentes condiciones ambientales a las que tiene que operar en algunas regiones del país. Dichas pruebas se basan fundamentalmente en las Normas Oficiales que rigen a los refrigeradores domésticos²⁹, las cuales establecen las condiciones de operación a las que se deben de probar los refrigeradores, los límites máximos establecidos de consumo de energía y el ahorro potencial de energía, dependiendo del modelo, marca y año de comercialización del refrigerador.

Para llevar a cabo dichas pruebas en el Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC), primeramente se tuvo que comprender e interpretar de manera adecuada la Norma Oficial vigente, lo que implicó una exhaustiva búsqueda de información referente a las características que tenían que presentar, tanto los refrigeradores como la misma área o espacio en donde se realizaron las pruebas correspondientes. Posteriormente, se desarrolló una metodología para realizar las pruebas, en donde se contemplaron todos los requisitos que marca la Norma, aunque con algunas variantes, tales como el voltaje de alimentación, el cual afecta al consumo de energía que se obtiene al finalizar las pruebas y que se discutirá en las conclusiones finales del trabajo y en los resultados derivados de las pruebas realizadas. A continuación se describirá el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, el cual servirá para que se tenga una mejor referencia de cómo operan los refrigeradores domésticos y cuales son sus componentes más importantes.

5.2. Descripción del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Muchos de los aspectos imprácticos asociados con el ciclo invertido de Carnot se eliminan al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima y al sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, tal como una válvula de expansión o un tubo capilar. El ciclo que resulta se llama ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, y se muestra de manera esquemática y en un diagrama T-s en la figura 5.1 a y b. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se emplea en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor. Se compone de cuatro procesos:

²⁹ Op. Cit. NOM-015-ENER-2002.

- 1-2. Compresión isentrópica en un compresor.
- 2-3. Rechazo de calor a $P = \text{constante}$ en un condensador.
- 3-4. Estrangulamiento en un dispositivo de expansión.
- 4-1. Absorción de calor a $P = \text{constante}$ en un evaporador.

Figura 5.1. a.

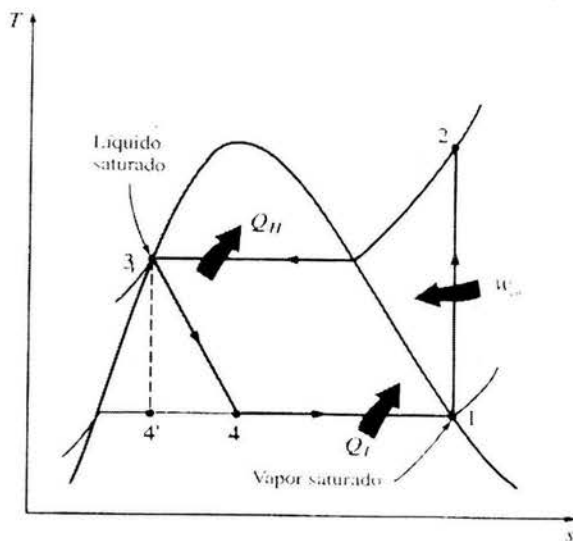


Figura 5.1. b.

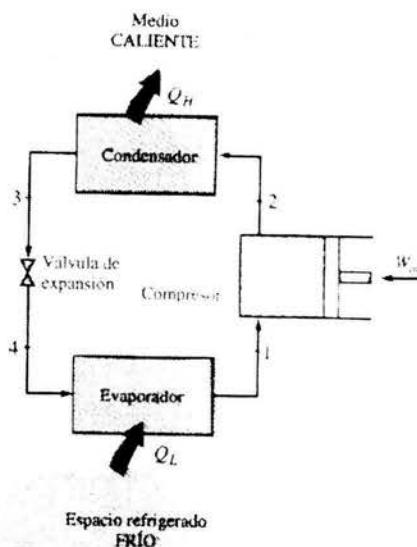


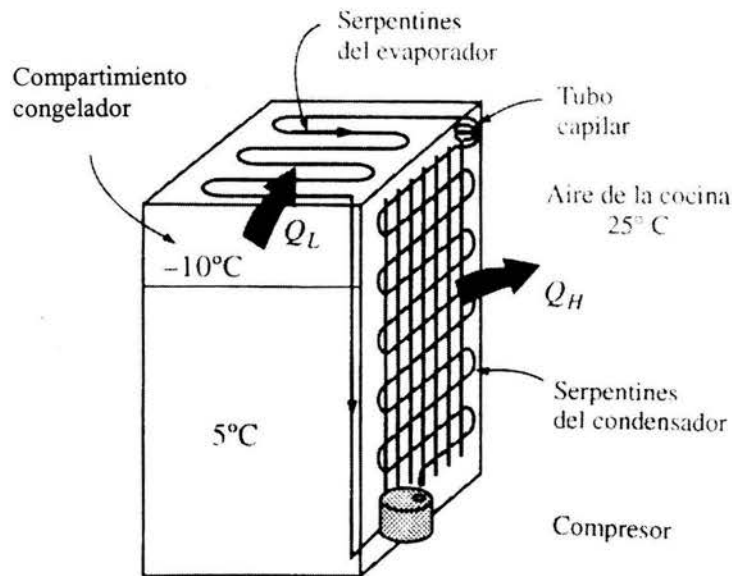
Diagrama esquemático para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. (Fuente: Boles M. Termodinámica. 2da Ed.)

En un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. Durante el proceso de compresión isentrópico la temperatura del refrigerante aumenta hasta un valor bastante superior al de la temperatura del medio circundante, como el aire atmosférico. Después el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido 2 en el estado 3, como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores. La temperatura del refrigerante en este estado se mantendrá por encima de la de los alrededores.

El refrigerante líquido-saturado en el estado 3 se estrangula hasta la presión del evaporador al pasar por una válvula de expansión o por un tubo capilar. La temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante este proceso. El refrigerante ingresa al evaporador en el estado 4 como una mezcla saturada de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio refrigerado. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, con lo cual completa el ciclo.

En un refrigerador doméstico el compartimiento del congelador, donde el calor es absorbido por el refrigerante, sirve como el evaporador. Los serpentines atrás del refrigerador, donde el calor se disipa en el aire de la cocina, sirven como el condensador (Figura 5.2).

Figura 5.2. Refrigerador doméstico común.



Fuente: Boles M. Termodinámica. 2da Ed.

El área bajo la curva del proceso en un diagrama T-s representa la transferencia de calor en procesos internamente reversibles. El área bajo la curva del proceso 4-1 representa el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador, y el área bajo la curva del proceso 2-3 representa el calor rechazado en el condensador.

La descripción del ciclo de refrigeración por compresión de vapor presentada anteriormente no pretende introducirse a cálculos, ya que solamente pretende dar una visión muy general del ciclo y los elementos que lo conforman, y con ello será más fácil comprender la metodología que se desarrolló para la realización de las pruebas aplicadas a los refrigeradores domésticos que a continuación se describe.

5.3. Metodología para la realización de las pruebas.

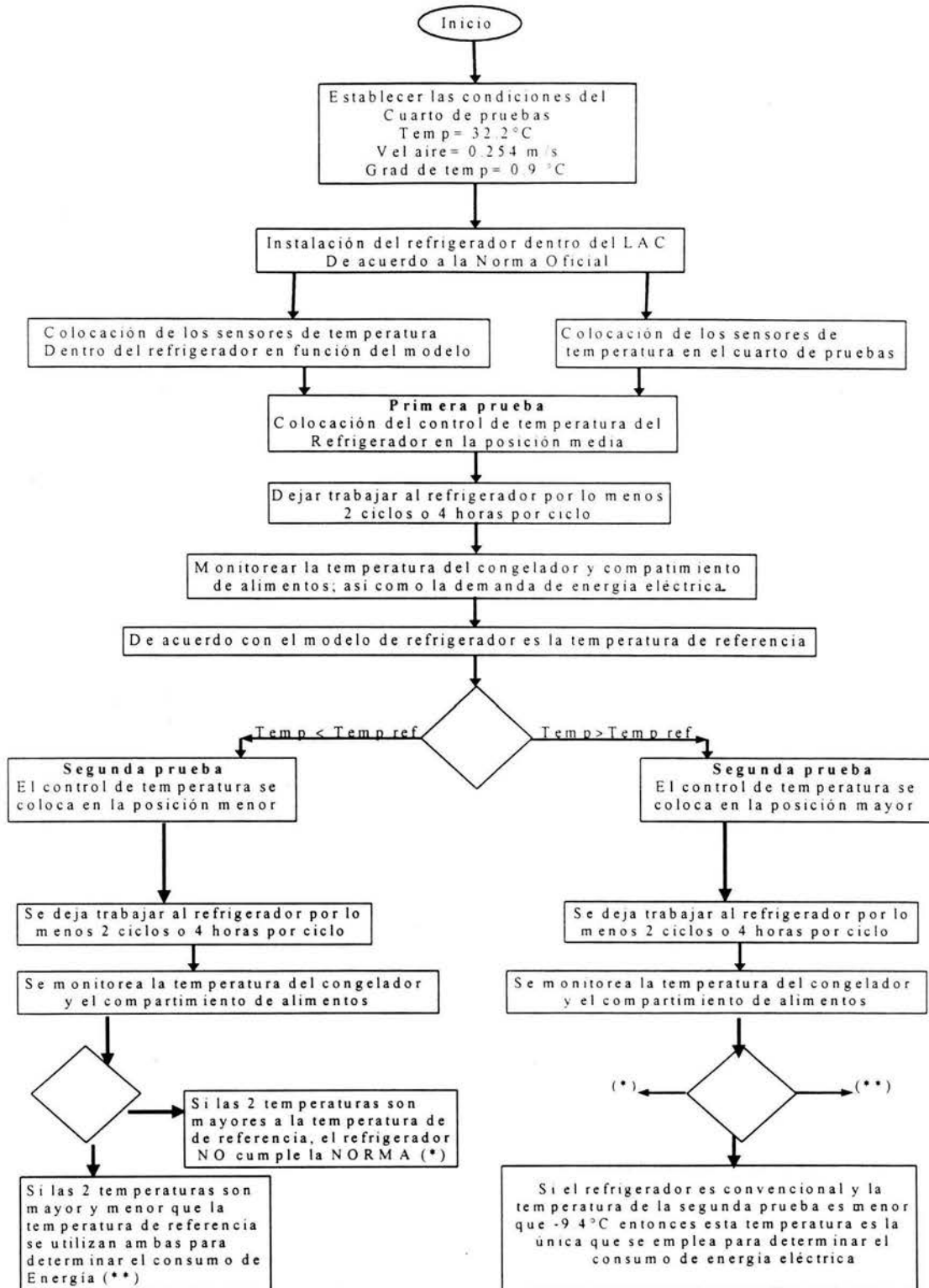
5.3.1. Aspectos generales.

Para llevar a cabo de manera experimental el análisis del consumo eléctrico de los refrigeradores domésticos es necesario detallar la metodología que se debe de seguir para obtener dicho consumo. Primeramente se encontrará el consumo de energía eléctrica en los refrigeradores en función de su volumen o capacidad, tanto del volumen del compartimiento de alimentos, como del congelador; para así obtener el volumen ajustado que marca la Norma. Con este volumen y las relaciones de fórmulas que establece la Norma para los consumos de energía, se encuentra el valor máximo permisible para el refrigerador en cuestión. Este valor servirá como parámetro de comparación con respecto al valor del consumo de energía eléctrica hallado de manera experimental y así saber cual es el ahorro de energía que se tiene o el gasto en exceso.

El área o espacio en donde se desarrolla la prueba, se debe poner a punto, de acuerdo con las condiciones que establece la Norma NOM-015-ENER-2002. Con los límites térmicos establecidos de manera correcta, corresponde llevar a cabo la primera parte de la prueba, variando los controles de temperatura a la parte media o un valor medio. Este primera parte de la prueba tendrá una duración de aproximadamente 12 horas o, dependiendo de los ciclos del compresor de cada modelo refrigerador, ya que pueden desarrollarse más de tres ciclos en menos de 12 horas, y con ello el tiempo de prueba se puede reducir.

Al encontrar una primera referencia de temperatura, se realiza la segunda prueba, que consistirá encontrar una temperatura mayor o menor a la de referencia, según sea el valor de la primera temperatura reportada. Con los valores de temperatura y el consumo de energía por día, se encuentra el valor experimental del consumo, en función del modelo y características del refrigerador. Este valor encontrado se relaciona con el consumo máximo determinado anteriormente y se encuentra la relación de eficiencia energética del refrigerador y el aumento o ahorro que energía que se presenta. Enseguida se presenta la metodología para la determinación de temperaturas dentro del refrigerador a probar (Diagrama 1).

Diagrama 1. Metodología empleada para la determinación de temperaturas.



5.3.2. Objetivo de la Norma.

Realizar las pruebas de eficiencia energética de refrigeradores domésticos para determinar el consumo de energía y fijar los límites máximos de consumo, en el Laboratorio de Ambiente Controlado.

5.3.3. Alcance.

Este procedimiento inicia con la preparación del refrigerador de prueba de acuerdo con una serie de condiciones, dentro del LAC para que posteriormente se realicen las correspondientes secuencias de pruebas y se desprendan de éstas los resultados que se registrarán para consecutivamente determinar los consumos máximos de energía eléctrica y compararlos con los estimados en el punto 3 de este trabajo de investigación.

5.3.4. Campo de aplicación.

El procedimiento abarca los refrigeradores de uso doméstico, operados por motocompresor hermético que más se comercializan en la República Mexicana, con diferentes capacidades de almacenamiento, con sistema de deshielo manual, semiautomático y automático, y de los diferentes tipos, refrigeradores solos, convencionales y Refrigeradores/Congeladores. Para efectuar el procedimiento de prueba se tomó como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002³⁰.

5.3.5. Definiciones.

Para efectos del desarrollo de las pruebas aplicadas a refrigeradores domésticos, dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado se establecen algunas definiciones, las cuales se describen en el anexo de este trabajo.

5.3.6. Clasificación de los refrigeradores.

Los refrigeradores se clasifican de acuerdo con su sistema de deshielo:

- Manual.
- Semiautomático.
- Automático.

o de acuerdo con su tipo:

³⁰ Op. Cit. NOM-015-ENER-2002.

- Refrigerador solo.
- Refrigerador Convencional.
- Refrigerador/Congelador.

Una vez identificado el refrigerador a probar, dentro de la clasificación anterior, se deberá de elegir el procedimiento respectivo para aplicar las pruebas correspondientes. Los procedimientos se enlistan a continuación.

Refrigerador solo:

- Procedimiento 1A (con deshielo manual).
- Procedimiento 1B (con deshielo semiautomático).
- Procedimiento 1C (con deshielo automático).

Refrigerador convencional:

- Procedimiento 2A (con deshielo manual).
- Procedimiento 2B (con deshielo semiautomático).
- Procedimiento 2C (con deshielo automático).

Refrigerador congelador:

- Procedimiento 3A (con deshielo manual).
- Procedimiento 3B (con deshielo semiautomático).
- Procedimiento 3C (con deshielo automático).

5.4. Requisitos para las pruebas.

5.4.1. Plataforma.

Para poder aplicar los procedimientos de pruebas para los distintos modelos de refrigeradores será necesario establecer las condiciones de temperatura del cuarto de prueba, así como cumplir con la plataforma donde se instalará el refrigerador de prueba. Esta plataforma tendrá la parte superior sólida con los lados abiertos para permitir la circulación del aire por su parte inferior. La plataforma debe construirse de tal manera que se extienda por lo menos 30.5 cm al frente y lados del refrigerador de prueba y en la parte posterior la distancia necesaria para quedar a tope con la pared del cuarto de prueba.

5.4.2. Sensores dentro de los compartimientos.

En el caso de los sensores de temperatura deberán ir embebidos en una masa metálica para los compartimientos de alimentos de refrigeradores convencionales, Refrigeradores/Congeladores y del compartimiento congelador de los

Refrigeradores/Congeladores con deshielo automático. Estos sensores utilizarán una masa para elevar la capacidad de calor y debe tener dimensiones de diámetro y altura de $2.9 \text{ cm} \pm 0.6 \text{ cm}$, deberán estar hechas de bronce, cobre u otro material con una capacidad térmica total no mayor que la de 20 g de agua.

Todos los sensores para medir temperatura ya sea embebidos en una masa o no, deben estar soportados con material de baja conductividad térmica y de tal manera que haya al menos 25 cm de espacio de aire separando la masa térmica de cualquier superficie.

5.4.3. Paquetes de relleno y su ubicación.

En algunos tipos de refrigeradores de prueba se debe llevar en su compartimiento congelador una carga simulada para realizar las pruebas. Éstas consisten en paquetes llenos de aserrín de maderas duras humedecidas con agua de tal manera que la densidad sea de $560 \text{ kg/m}^3 \pm 80 \text{ kg/m}^3$. Estos paquetes deben sellarse o cubrirse con alguna envoltura que evite que se escape la humedad y deben tener las dimensiones de 13 cm x 10 cm x 4 cm $\pm 15 \%$.

El compartimiento congelador de los refrigeradores debe llenarse con el 75% del número máximo de paquetes que pueda contener su volumen. El espacio de aire alrededor de la carga simulada del congelador debe ser de 1.5 cm a 4 cm. Se puede emplear una rejilla de alambre con espaciadores de material bajo en conductividad térmica para cuidar que los paquetes no se muevan y obstruyan el espacio de aire, con los paquetes colocados en forma piramidal o en estratos uniformes alineados según sea necesario para localizar apropiadamente los sensores de temperatura, ya que éstos deben estar en el centro geométrico de los paquetes y éstos a su vez colocados de tal forma que los puntos donde se mida la temperatura coincidan con los mostrados en las figuras 2, 3 ó 4 de la Norma Oficial³¹ según corresponda.

Si se cambia la localización de estos puntos por interferencia con el arreglo del compartimiento congelador, debe procurarse la colocación más cercana a los puntos especificados en la figuras y reportar las nuevas ubicaciones. Si existen secciones o anaqueles adicionales en el compartimiento congelador se cargará con el 75% de su capacidad total con los paquetes descritos. Si existen anaqueles en el interior de las puertas del compartimiento congelador se cargarán con el número máximo de paquetes que puedan contener sin sujeción adicional para detenerlos.

³¹Op. Cit. NOM-015-ENER-2002.

5.5. Secuencia de pruebas.

La secuencia de pruebas a realizar después de obtener la condición térmica estable del refrigerador de prueba así como del cuarto de prueba es la siguiente: la primera prueba requiere que se coloquen los controles de temperatura de los compartimientos en su posición media, esto es, entre la posición más caliente y más fría del control de temperatura. En la segunda prueba se colocan todos los controles de temperatura de los compartimientos en su posición más fría o más caliente, según corresponda para obtener una temperatura mayor y otra menor que la temperatura de referencia normalizada (Tabla 5.1) de acuerdo con el tipo de refrigerador que se esté probando.

Tabla 5.1. Temperatura de referencia normalizada.

Aparato	Compartimiento de referencia	Temperatura de referencia normalizada
Refrigerador solo	de alimentos	3.3 °C
Refrigerador convencional	congelador	-9.4 °C
Refrigerador/Congelador	congelador	-15 °C

Fuente: NOM-015-ENER-2002.

Si las temperaturas obtenidas durante ambas pruebas son mayor y menor que la temperatura de referencia normalizada para el tipo de refrigerador de prueba en estudio, entonces los resultados de las dos pruebas se utilizan para determinar el consumo de energía.

Si las dos temperaturas son mayores a la temperatura de referencia normalizada para el tipo de refrigerador de prueba en estudio, entonces el aparato no cumple con la norma.

Si la temperatura del compartimiento congelador en refrigeradores convencionales, medida con los controles de temperatura en la posición más caliente, es menor que - 9.4 °C y además la temperatura del compartimiento de alimentos es menor a 7.2 °C, entonces el resultado de esta prueba es el único empleado para determinar el consumo de energía.

Si la temperatura del compartimiento congelador en Refrigeradores/Congeladores, medida con los controles de temperatura en la posición más caliente, es menor que - 15.0 °C y además la temperatura del compartimiento de alimentos es menor a 7.2 °C, entonces el resultado de esta prueba es el único empleado para determinar el consumo de energía.

5.6. Métodos de prueba para refrigeradores convencionales con deshielo semiautomático. Procedimiento 2B.

5.6.1. Condiciones del cuarto de prueba.

La temperatura ambiente del cuarto de prueba medida a una distancia de 25.4 cm (10 pulgadas) del centro de las paredes laterales del aparato y a una altura de 91.5 cm (3 pies) de la base del aparato debe ser de $32.2^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$. Esta temperatura debe mantenerse dentro de la tolerancia señalada durante el periodo de estabilización al igual que durante las pruebas. El gradiente vertical de temperatura en cualquier punto arriba de 5.1 cm (2 pulgadas) del piso o de la plataforma de soporte y hasta 30.5 cm (1 pie) arriba de la parte superior del gabinete no debe ser mayor de 0.9°C por metro de distancia vertical (0.5°F por pie).

Cuando se use plataforma, ésta debe tener su parte superior sólida con los lados abiertos para permitir la circulación del aire por su parte inferior. La plataforma debe extenderse por lo menos 30.5 cm (1 pie) al frente y lados del gabinete y en la parte posterior la distancia necesaria para quedar a tope con la pared del cuarto de prueba. El uso de la plataforma es obligatorio cuando la temperatura del piso difiera de $32.2^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3^{\circ}\text{F}$).

El gabinete en prueba debe estar protegido de corrientes de aire cuya velocidad sea mayor de 0.254 m/s (50 pies/minuto).

El suministro eléctrico debe ser de 60 Hz y la tensión de $115\text{ V} \pm 1\text{ V}$. La tensión debe ser medida en la alimentación del producto sometido a prueba mientras el motocompresor esté operando.

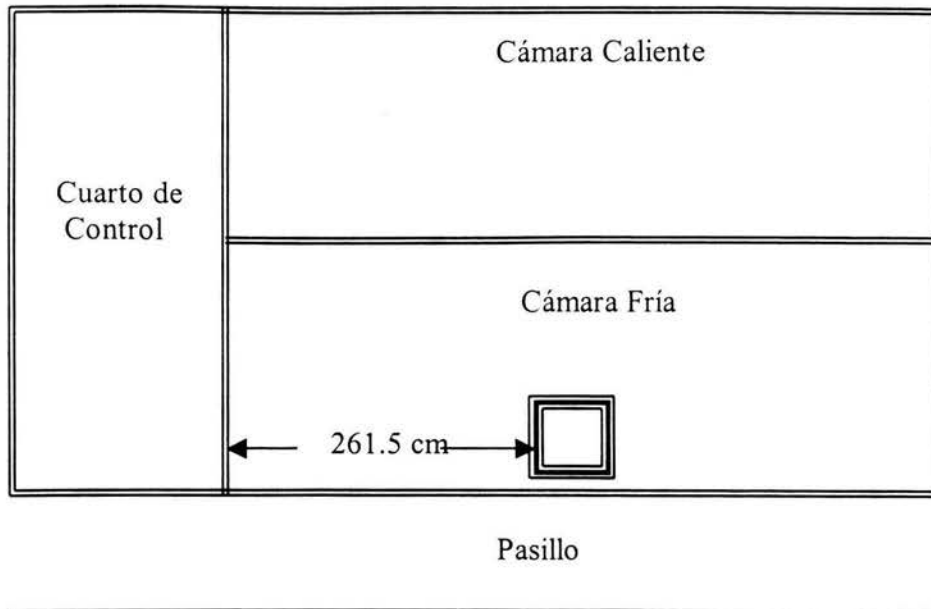
5.6.2. Preparación del aparato a probar.

Instalación.

- La ubicación del refrigerador de prueba será en la cámara fría (CF) del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC). El refrigerador debe instalarse a una distancia de 261.5 cm de la pared oeste de la CF, al eje central del aparato de prueba tal como marca la Norma Oficial³². El espacio entre la pared trasera del refrigerador y la pared norte de la CF debe ser la que indica el fabricante. Si no lo hace, el aparato de prueba se coloca a 5 cm de separación (Figura 5.3).

³² Op. Cirt. Norma Oficial NOM-015-ENER-2002.

Figura 5.3. Colocación del refrigerador a probar dentro del Laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

- El refrigerador de prueba debe instalarse sobre la plataforma, ésta debe extenderse por lo menos 30.5 cm al frente y lados del gabinete y en la parte posterior la distancia necesaria para quedar a tope con la pared del cuarto de prueba. El refrigerador de prueba debe estar firme y totalmente nivelado sobre la plataforma.
- Se deberá de mantener en reposo el refrigerador a probar entre 3 y 4 horas antes de conectarlo por primera vez.

Condiciones de funcionamiento del refrigerador.

- Conectar el cable de alimentación eléctrica (o enchufe) a la toma de red. No conectar otros dispositivos en esta misma salida.
- Dejar operando el refrigerador de prueba un tiempo no menor de 24 horas. El periodo de operación puede llevarse a cabo a temperatura ambiente.
- Apagar o eliminar el funcionamiento de las máquinas de hacer hielo automáticas.
- Apagar, cuando exista la posibilidad mediante un interruptor, las luces de cortesía, radios, relojes, lámparas higiénicas y similares.

- Poner los controles de temperatura en la posición en que se logre la menor temperatura posible, para los compartimientos especiales de temperatura controlable (como serían la legumbreira y el compartimiento de carnes).
- Poner los controles de temperatura en el nivel de consumo energético mínimo, para los compartimientos de mantequilla.
- Los compartimientos de alimentos convertibles a congelador deben operarse en la posición de control de temperatura de máximo consumo energético.
- Los accesorios operados eléctricamente, de inicio manual y terminación automática deben operar en su nivel de consumo energético mínimo.
- Los deflectores deben estar abiertos, a menos que se especifique de otra manera en el manual del fabricante.

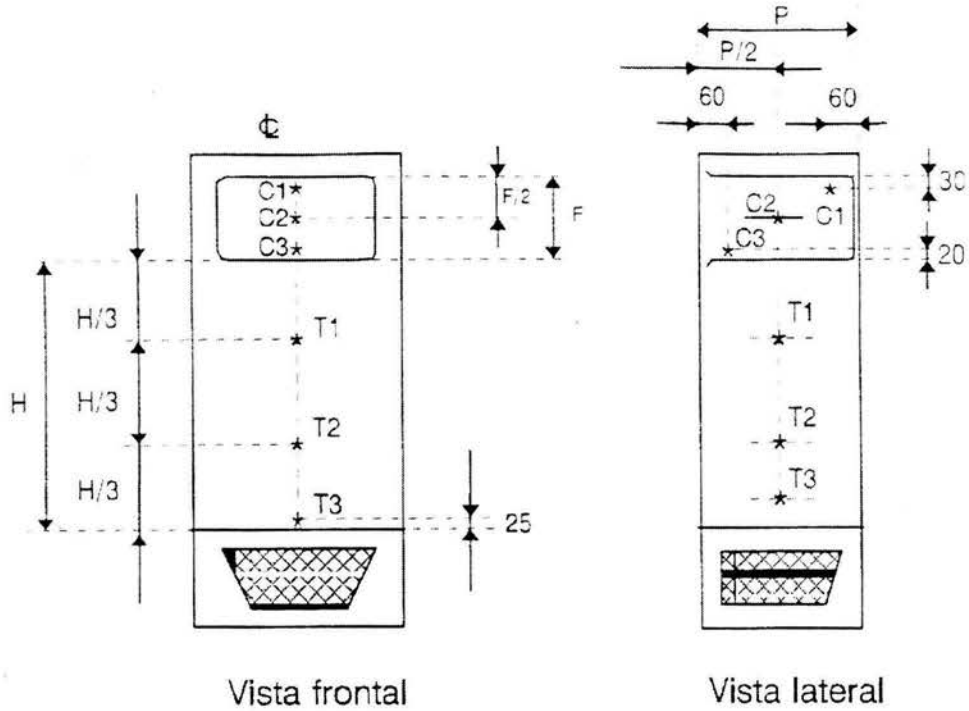
Colocación de Sensores de Temperatura en el refrigerador.

- Los sensores de temperatura se colocan en las posiciones que se indican en la figura 5.4.
- En caso de interferencia del sensor localizado en el punto especificado en la figura, por un arreglo diferente en el compartimiento; el sensor se colocará en un lugar lo más cercano al especificado de tal manera que exista una distancia de 2.5 cm entre la masa del sensor y el anaquel o charola y se reportarán estos nuevos puntos.

Colocación de los sensores en el cuarto de prueba.

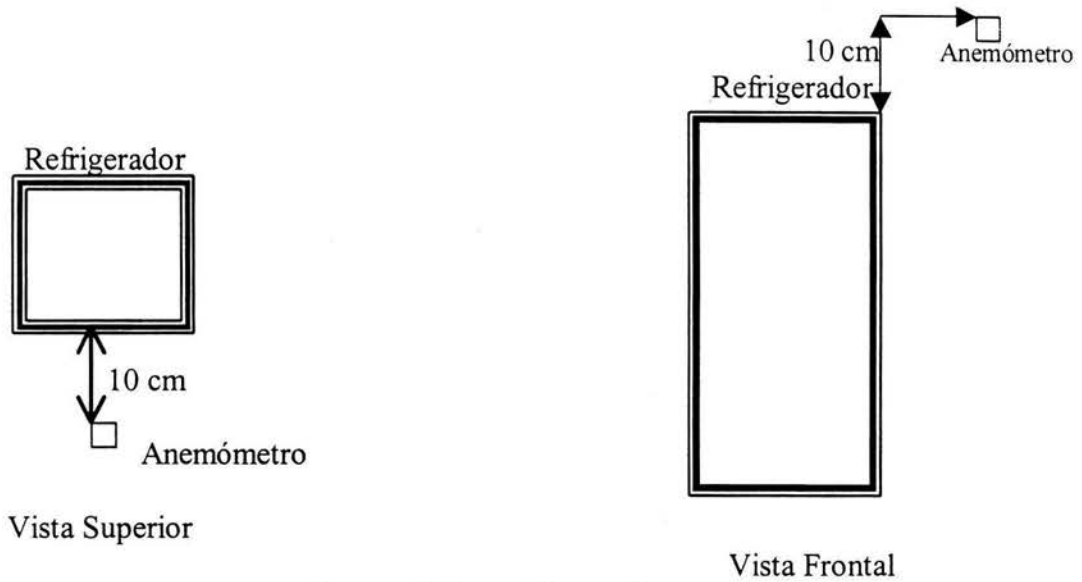
- Colocar el anemómetro a una distancia de 10 cm del centro de la puerta frontal del refrigerador de prueba y a una altura de 10 cm por arriba de la parte superior del gabinete como se muestra en la figura 5.5. Verificar que el refrigerador de prueba no esté expuesto a corrientes de aire cuya velocidad sea mayor de 0.254 m/s. Mantener esta velocidad dentro de la tolerancia señalada durante el periodo de estabilización al igual que durante las pruebas.

Figura 5.4. Colocación de los sensores de temperatura en refrigeradores convencionales.



Fuente: Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002.

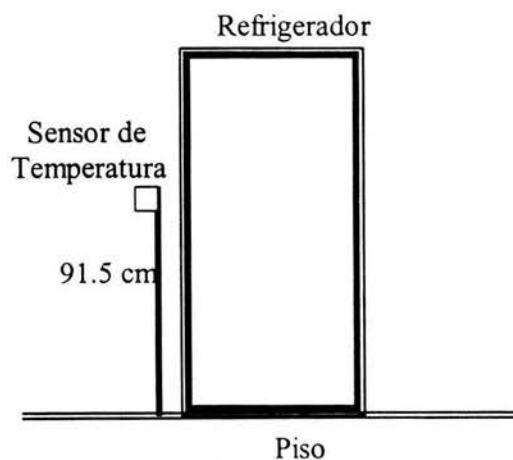
Figura 5.5. Colocación del anemómetro en el refrigerador de prueba.



Fuente: Elaboración propia.

- Verificar que el refrigerador de prueba esté protegido de la radiación directa de cualquier superficie enfriada o calentada cuya temperatura tenga una diferencia de más de 5.6°C con la temperatura ambiente del cuarto de prueba. Debe garantizarse esta protección durante el periodo de estabilización y durante las pruebas.
- Colocar los sensores para medir la temperatura ambiente del cuarto de prueba a una distancia de 25.4 cm del centro de las paredes laterales del refrigerador de prueba y a una altura de 91.5 cm de la plataforma (Figura 5.6).
- Colocar los sensores de temperatura para medir el gradiente de temperatura sobre una línea vertical a una distancia de 25.4 cm del centro de una de las paredes laterales del refrigerador de prueba y a las siguientes alturas:
 - Si el refrigerador de prueba tiene una altura de 174.6 cm, serán tres sensores, colocados a una altura de 5.1 cm, 105.1 cm y 205.1 cm de la plataforma.
 - Si el refrigerador de prueba tiene una altura menor a 174.6 cm, serán cuatro sensores, colocados a una altura de 5.1 cm, 105.1 cm de la plataforma; a 30.5 cm por arriba de la parte superior del gabinete y a 69.5 cm por debajo de la parte superior del gabinete.
 - Si el refrigerador de prueba tiene una altura mayor a 174.6 cm, serán seis sensores, colocados a una altura de 5.1 cm, 105.1 cm y 205.1 cm de la plataforma; a 30.5 cm por arriba de la parte superior del gabinete y a 69.5 cm y 169.5 cm por debajo de la parte superior del gabinete.

Figura 5.6. Colocación del sensor de temperatura ambiente dentro de la cámara fría.



Fuente: Elaboración propia.

- Medir la tensión en la alimentación del refrigerador sometido a prueba mientras el motocompresor esté operando. Verificar que el suministro eléctrico sea de 60 Hz y la tensión de $115\text{ V} \pm 1\text{ V}$. Este suministro debe ser monitoreado constantemente durante el periodo de estabilización y durante las pruebas.

5.6.3. Secuencia y tiempo de Prueba,

Primera prueba.

- Colocar el control de temperatura del compartimiento de alimentos en su posición media, entre la posición más caliente y más fría.
- Desalojar la cámara y revisar el cierre adecuado de las puertas. Verificar que la temperatura ambiente del cuarto de prueba sea de $32.2^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$; y que el gradiente vertical de temperatura no sea mayor de 0.9°C por metro de distancia vertical.
- Dejar que transcurra un período de estabilización, tomando lecturas de los sensores de temperatura en el compartimiento de alimentos en intervalos de 1 minuto.
- Analizar las mediciones de temperatura:
 - Si no existen ciclos del motocompresor en un tiempo de 2 horas; calcular el promedio de la medición de cada sensor de un período de 2 horas. Obtener nuevamente el promedio de la medición de cada sensor de un periodo de 2 horas, dejando un espacio de tiempo de al menos 3 horas entre los períodos de medición. Comparar cada uno de los promedios de ambos períodos y estos no deben variar más de $\pm 0.023^{\circ}\text{C}$ para obtener la condición térmica estable del refrigerador de prueba.
 - Si existen ciclos del motocompresor en un tiempo de 2 horas; calcular el promedio de la medición de cada sensor durante un número de ciclos completos a lo largo de por lo menos 2 horas. Obtener nuevamente el promedio de la medición de cada sensor durante un número de ciclos completos a lo largo de por lo menos 2 horas, dejando un espacio de tiempo de al menos 3 horas entre los periodos de medición. Comparar cada uno de los promedios de ambos períodos y éstos no deben variar de $\pm 0.023^{\circ}\text{C}$ para obtener la condición térmica estable del refrigerador de prueba.
- Después de obtener la condición térmica estable del refrigerador, iniciar la primera prueba en un arranque del compresor.
 - Si no ocurre paro del compresor, el tiempo de prueba debe ser por lo menos de 3 horas. Si existen ciclos completos del motocompresor, el tiempo de prueba

será el tiempo que tarde el compresor en completar dos o más ciclos en por lo menos 3 horas.

- Si se presentan ciclos incompletos del motocompresor (menos de un ciclo) durante un periodo de 24 horas, el tiempo de prueba será el periodo de 24 horas.
- Deshielar el evaporador y secar las charolas e interiores del refrigerador.

Segunda prueba.

- Colocar el control de temperatura del compartimiento de alimentos en su posición más fría o más caliente, según corresponda.
 - Si la temperatura en la primera prueba es menor que la temperatura de referencia normalizada de -15°C , fijar el control en una posición que obtenga una temperatura mayor que la de referencia normalizada.
 - Si la temperatura en la primera prueba es mayor que la temperatura de referencia normalizada de -15°C , fijar el control en una posición que obtenga una temperatura menor que la de referencia normalizada.
- Desalojar la cámara y revisar el cierre adecuado de las puertas de la cámara. Verificar que la temperatura ambiente del cuarto de prueba sea de $32.2^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$; y también que el gradiente vertical de temperatura no sea mayor de 0.9°C por metro de distancia vertical.
- Dejar que transcurra un período de estabilización, tomando lecturas de los sensores de temperatura en el compartimiento de alimentos en intervalos de 1 minuto.
- Analizar las mediciones de temperatura:
 - Si no existen ciclos del motocompresor en un tiempo de 2 horas, calcular el promedio de la medición de cada sensor de un período de 2 horas. Obtener nuevamente el promedio de la medición de cada sensor de un periodo de 2 horas, dejando un espacio de tiempo de al menos 3 horas entre los períodos de medición. Compare cada uno de los promedios de ambos períodos y éstos no deben variar de $\pm 0.023^{\circ}\text{C}$ para obtener la condición térmica estable del refrigerador de prueba.
 - Si existen ciclos del motocompresor en un tiempo de 2 horas, calcular el promedio de la medición de cada sensor durante un número de ciclos completos a lo largo de por lo menos 2 horas. Obtener nuevamente el promedio de la medición de cada sensor durante un número de ciclos completos a lo

largo de por lo menos 2 horas, dejando un espacio de tiempo de al menos 3 horas entre los periodos de medición. Comparare cada uno de los promedios de ambos periodos y éstos no deben variar más de $\pm 0.023^{\circ}\text{C}$ para obtener la condición térmica estable del refrigerador de prueba.

- Después de obtener la condición térmica estable del refrigerador, se inicia la segunda prueba en un arranque del compresor.
 - Si no ocurre paro del compresor, el tiempo de prueba debe ser por lo menos de 3 horas.
 - Si existen ciclos completos del motocompresor, el tiempo de prueba será el tiempo que tarde el compresor en completar dos o más ciclos en por lo menos 3 horas.
 - Si se presentan ciclos incompletos del motocompresor (menos de un ciclo) durante un periodo de 24 horas, el tiempo de prueba será este periodo de 24 horas.

5.6.4. Calculo del consumo de energía.

Para el cálculo del consumo de energía existen varios conceptos de dicho consumo:

- Demanda de energía durante el tiempo de prueba, es el que indique el Wattmetro desde el inicio hasta el final de la prueba.
- El consumo de energía de un ciclo es el consumo de energía durante el tiempo de prueba que se ajusta a un período de un ciclo, expresándose en kilowatts-hora por día (kWh/día).

Para los refrigeradores de prueba con deshielo manual, semiautomático y automático el cálculo para el consumo de energía de un ciclo se define de acuerdo a la expresión (1).

$$EC = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Tiempo}} = \frac{EP * 1440 * K}{t} \quad (1)$$

Donde:

EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día.

EP = Consumo de energía durante el tiempo de prueba, en kWh.

1440 = Factor de conversión para ajustar el tiempo de prueba a un período de 24 horas.

K = Factor de corrección adimensional, 1.00 para refrigeradores electrodomésticos (Para refrigeradores de tipo vertical y comerciales, k tiene otro valor).

t = Tiempo total de la prueba, en minutos.

Cálculo del consumo de energía promedio de un ciclo.

Si para la posición más caliente de los controles de temperatura, la temperatura del compartimiento de alimentos es menor o igual que 7.2°C y la temperatura del compartimiento congelador es menor o igual que -9.4°C en el caso del refrigerador convencional o es menor o igual que -15.0°C en el caso de un Refrigerador/Congelador, el consumo de energía se define en la expresión (2):

$$E = EC \quad (2)$$

Donde:

E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día.

EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día.

Si las condiciones anteriores no existen, el consumo de energía promedio del aparato se define con el valor más alto calculado por las expresiones (3) y (4):

$$E = EC1 + (EC2 - EC1) * \frac{7.2 - TR1}{TR2 - TR1} \quad (3)$$

$$E = EC1 + (EC2 - EC1) * \frac{K - TR1}{TC2 - TC1} \quad (4)$$

Donde:

E = consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día.

EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día.

TR = Temperatura del compartimiento de alimentos, en °C.

TC = Temperatura del compartimiento congelador, en °C.

7.2 = Temperatura máxima del compartimiento de comida fresca, en °C.

K = Valor constante de -15 °C en los Refrigeradores/Congeladores, siendo estos valores las temperaturas de referencia normalizada del compartimiento congelador.

Los números 1 y 2 indican las mediciones tomadas durante la primera y segunda prueba, respectivamente. Las ecuaciones anteriormente presentadas se extraen de los manuales de Normalización y certificación de la Dirección General de Normas.³³

³³ www.dgn.gob.mx/normas.

Consumo de energía anual.

Para determinar el consumo anual, debe considerarse un periodo de uso continuo a lo largo del año, determinándose con la expresión (5):

$$CA = E \times 365 \quad (5)$$

Donde:

CA = Consumo de energía anual, en kWh/año.

E = Consumo de energía en un ciclo, en kWh/día.

365 = Factor de conversión de días al año.

Factor de ajuste y el volumen ajustado

La Norma Oficial establece que para Refrigerador/Congelador el factor de ajuste es 1.63. y el volumen ajustado³⁴ de un aparato debe ser calculado de acuerdo con la expresión (6):

$$VA = V_{ALIMENTOS} + (V_{CONGELADOR} * FA) \quad (6)$$

Donde:

VA = Volumen ajustado, (dm³).

V_{ALIMENTOS} = Volumen del compartimiento de alimentos, el cual se determina como se indica en el apéndice A de la Norma Oficial (dm³).

V_{CONGELADOR} = Volumen del compartimiento congelador en un refrigerador electrodoméstico, determinado como se indica en el apéndice A o volumen de un congelador electrodoméstico, determinado como se indica en el apéndice B de la Norma Oficial, (dm³).

FA = Factor de ajuste.

Límites de consumo de energía máximos para refrigeradores y congeladores.

Los límites de consumo máximo de energía se determinan al aplica la expresión (7) de la Norma de acuerdo con el tipo, sistema de deshielo y volumen ajustado del refrigerador probado.

$$E_{MAX} = 0.31V_A + 248.4 \quad (7)$$

³⁴ Definición en el anexo de este trabajo.

Donde:

E_{MAX} = Consumo de energía máxima por año, en kWh/año.

VA = Volumen ajustado, en dm^3 .

La expresión (7) solamente se aplicará a los refrigeradores con las siguientes características:

- Refrigeradores solos y convencionales con deshielo manual o semiautomático.
- Refrigeradores/ congeladores (R/C) con deshielo manual o semiautomático.

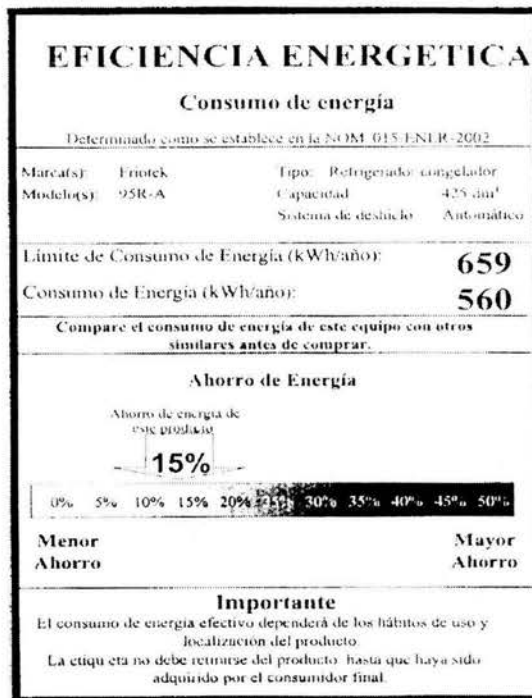
5.6.5. Criterios de Aceptación.

Para la certificación del refrigerador, éste será aprobado si el modelo cumple con la norma y satisface la condición en la cual se determina el consumo de energía de la muestra de los refrigeradores seleccionados y el promedio de los resultados de la muestra debe ser menor o igual al límite de consumo de energía.

Para informar el valor de consumo energético en la etiqueta se deben seguir y cumplir los requerimientos de muestreo y certificación de la Norma. El valor a informarse en la etiqueta es el promedio del consumo energético de la muestra con que se obtuvo la certificación, al más cercano kWh/año. La etiqueta (Figura 5.7) debe estar ubicada en un área de exhibición del producto visible al consumidor, en su interior o exterior. La etiqueta de consumo de energía de los refrigeradores electrodomésticos debe contener la siguiente información:

- Eficiencia energética.
- Consumo de energía. Determinado como se establece en la NOM-015-ENER-2002.
- Marca(s): seguida del nombre y/o marca(s) registrada(s) del fabricante.
- Modelo(s): seguida del modelo(s) del refrigerador.
- Tipo: seguida del tipo de refrigerador o congelador.
- Capacidad: seguida de la capacidad del refrigerador.
- Límite de consumo de energía (kWh/año): seguida del límite de consumo de energía que corresponde al refrigerador o congelador, en números enteros, con negritas.
- Consumo de energía (kWh/año): seguida del consumo de energía anual del refrigerador o congelador, determinado por la presente metodología, en números enteros, con negritas.
- Ahorro de energía: colocada de manera horizontal.

Figura 5.7. Ejemplo de la distribución de la información de la etiqueta de refrigeradores y congeladores electrodomésticos.



Fuente: Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002.

El método anteriormente descrito, solamente sirve para los modelos de refrigeradores que cumplen con las características que ahí se establecen, por lo cual, para los otros modelos de refrigeradores que también se pretenden probar dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado, se elaboraron sus respectivas metodologías. Los métodos de pruebas para los Refrigeradores/Congeladores con deshielo semiautomático y los Refrigeradores/Congeladores con deshielo automático y con surtidor de hielo se presentan resumidos en el anexo de este trabajo.

5.7. Resumen.

Una vez demostrada la eficacia de funcionamiento del laboratorio y habiendo verificado las condiciones para llevar a cabo las pruebas a los refrigeradores domésticos, el siguiente punto fue la elaboración de las metodologías para efectuar las pruebas de eficiencia energética, dependiendo del tipo, sistema de deshielo y capacidad de almacenamiento. Dichas metodologías se desarrollaron en base a la Norma Oficial³⁵, considerando las condiciones de operación del equipo a probar, el tiempo que debe de

³⁵ Op. Cit. Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002.

transcurrir la prueba y el tipo de procedimiento que se debe seguir para determinar el consumo anual de energía.

Un punto interesante dentro del desarrollo e implementación de estas pruebas es la forma en como se presenta este capítulo, el cual tiene la forma de un manual de pruebas, y podría ser empleado en un futuro si se pretenden realizar estudios más a fondo, o para cubrir uno de los requisitos que marca la Entidad Mexicana de Acreditamiento para los laboratorios que pretenden acreditarse como laboratorios oficiales de pruebas³⁶.

Al desarrollar las metodologías antes descritas, se cumple otro objetivo de este trabajo de investigación, el cual es establecer un protocolo de pruebas en base a la Norma Oficial para refrigeradores domésticos. Al elaborar estas pruebas, se pueden saber cuales son los parámetros más importantes a considerar, tales como el voltaje de alimentación, las condiciones de estabilidad térmica o el tiempo establecido para cada prueba. Esto con la finalidad de conocer los parámetros que afectan, ya sea directa o indirectamente a la eficiencia del refrigerador. Posteriormente, en el siguiente tema se presentaran los resultados de las pruebas y el impacto de cada parámetro con relación a los resultados obtenidos.

³⁶ Arroyo Cabañas Fernando G. 2001. "Propuesta para la acreditación del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC) de la UAM-I ante la Entidad Mexicana de Acreditamiento". Seminario de proyectos de Ingeniería en Energía. UAM-I. México D.F.

6. Resultados experimentales.

6.1. Introducción.

La eficiencia energética que reporta el fabricante de refrigeradores domésticos a los consumidores finales es de suma importancia, debido a que a través de este parámetro, las personas que piensen adquirir un refrigerador nuevo, pueden efectuar una comparación entre las eficiencias de los distintos modelos y marcas comerciales que existen actualmente en el mercado nacional; con la finalidad de establecer cual es el equipo que más se adecua a las necesidades de cada familia.

El valor de la eficiencia energética de cada refrigerador, se ve reflejado en el consumo de energía eléctrica que presentan a lo largo de un año de operación. Este parámetro se puede determinar a través de la metodología que se desarrollo en el tema 5, para distintos modelos y capacidades de refrigeradores. El consumo de energía que presentan los refrigeradores se encuentra en función de varios parámetros que se deben de tener en cuenta, tales como la corriente y tensión que demanda el refrigerador a probar, el tiempo que transcurre trabajando el compresor del refrigerador, la carga térmica que estará contenida dentro del equipo, el volumen de almacenamiento en los compartimientos del refrigerador y la temperatura ambiente a la que se encuentre trabajando.

Al desarrollar y llevar a cabo las pruebas, los parámetros descritos anteriormente se manejaron de acuerdo con lo que establece la Norma Oficial³⁷ para cada modelo de refrigerador probado. Sin embargo, para el valor de la tensión de alimentación, se considero el de la Ciudad de México (127 ± 10 volts). Esto con la finalidad de observar la variación que existe en el consumo final de energía por parte de los refrigeradores domésticos, ya que la Norma Oficial establece que el valor de la tensión de alimentación deber oscilar entre los 115 volts, pero como se sabe, en México el valor de la tensión es diferente. Esta variación se verá reflejada en el consumo final de energía, y servirá posteriormente para determinar cuanto más se consume de energía al no existir una homologación en los valores de tensión que marca la Norma, ya que estos valores solo se manejan en Estados Unidos, y la Norma únicamente es una traducción de la original que es destinada a México.

A continuación se presentarán los resultados obtenidos de varias pruebas realizadas a diferentes modelos de refrigeradores domésticos, estos resultados presentan el método que se aplicó a cada refrigerador, la demanda máxima de energía, el consumo de energía al día y al año, la comparación entre el límite de consumo de energía máximo establecido por la Norma y el consumo experimental; y la determinación del exceso o ahorro de energía que existió en los modelos de refrigeradores probados.

³⁷ Op. Cit. NOM-015-ENER-2002.

6.2. Resultados de las pruebas aplicadas a los refrigeradores domésticos.

Al llevar a cabo las pruebas a los refrigeradores domésticos, primeramente se identificaron las características principales de cada equipo (Tabla 6.1); esto con la finalidad de determinar cual sería la metodología empleada para estipular el consumo de energía de cada modelo de refrigerador.

Tabla 6.1. Características de los refrigeradores probados.

Marca	Deshielo	Tipo	Año	Tensión Nominal	Corriente Nominal	Frecuencia	Refrigerante
ACROS	Semi-Automático	Refrigerador Congelador	1990	127 V \pm 10V	2.2 amp	60 Hz	R-12 (120g)
BENDIX	Semi-Automático	Refrigerador Convencional	1970	127 V \pm 10V	2.7 amp	60 Hz	R-12 (240g)
MABE	Semi-Automático	Refrigerador Convencional	1980	127 V \pm 10V	1.76 amp	60 Hz	R-12 (115g)
WHIRLPOOL	Automático	Refrigerador Congelador	1997	127 V \pm 10V	2.5 amp	60 Hz	R 134a (165g)

Primera prueba.

Con las características presentadas anteriormente en la tabla 6.1, y teniendo identificada la metodología que se debe emplear para efectuar la prueba de eficiencia energética, corresponde colocar los controles de temperatura de los compartimientos (congelador y de alimentos) en la posición media, entre la posición más caliente y más fría. De esta forma se sabrán las temperaturas promedio de los compartimientos (Tabla 6.2) y así, determinar las temperaturas a emplear en la segunda prueba

Segunda prueba.

Con las temperaturas reportadas en la Tabla 6.1, corresponde colocar todos los controles de temperatura de los compartimientos en su posición mas fría o más caliente, según las temperaturas de la primera prueba, esto con la finalidad de obtener una temperatura mayor y otra menor que la temperatura de referencia normalizada. Las temperaturas de referencia normalizada se presentan en la tabla 6.2. De acuerdo con la comparación entre temperaturas, corresponde mover el control de temperaturas para obtener una temperatura menor o mayor a la temperatura de referencia normalizada.

Tabla 6.2. Temperaturas reportadas de la primera prueba.

Refrigerador MABE 7 pies cubicos					
Temperatura alimentos			Temperatura congelador		
Temp1	Temp3	Temp7	Temp2	Temp4	Temp8
3.11	3.53	3.44	-13.60	-11.66	-12.76

Refrigerador ACROS 9 pies cubicos					
Temp alimentos			Temp congelador		
Temp1	Temp3	Temp4	Temp2	Temp7	Temp8
11.07	11.28	11.78	-7.11	-7.82	-8.35

Refrigerador BENDIX 14 pies cubicos					
Temperatura alimentos			Temperatura congelador		
Temp1	Temp3	Temp7	Temp2	Temp4	Temp8
-1.85	-0.71	-1.13	-18.88	-18.44	-19.62

Refrigerador WHIRLPOOL 21 pies cubicos					
Temperatura alimentos			Temperatura congelador		
Temp1	Temp3	Temp7	Temp2	Temp4	Temp8
0.39	-0.06	1.33	-17.68	-17.96	-18.03

Tabla 6.3 temperaturas de referencia Normalizada

Refrigerador	Temperatura de referencia normalizada	Temperatura promedio del congelador
ACROS	-15°C	-7.76°C
BENDIX	-9.4°C	-18.98°C
MABE	-9.4°C	-12.67°C
WHIRLPOOL	-15°C	-17.89°C

De acuerdo con las tablas 6.3 y 6.4 corresponde realizar la segunda parte de la prueba, y de igual forma que en la primera parte se determinarán las temperaturas dentro del compartimiento de alimentos y el congelador.

Como las temperaturas obtenidas durante ambas pruebas son mayores y menores que la temperatura de referencia normalizada, los resultados de las dos pruebas se utilizan para determinar el consumo de energía. Las temperaturas encontradas durante la segunda prueba se reportan en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Temperaturas reportadas de la segunda prueba.

Refrigerador MABE 7 pies cúbicos					
Temperatura alimentos			Temperatura congelador		
Temp1	Temp3	Temp7	Temp2	Temp4	Temp8
6.28	6.72	6.94	-9.51	-8.54	-8.93

Refrigerador ACROS 9 pies cúbicos					
Temp alimentos			Temp congelador		
Temp1	Temp3	Temp4	Temp2	Temp7	Temp8
7.47	6.7	7.16	-15.67	-18.21	-19.54

Refrigerador BENDIX 14 pies cúbicos					
Temperatura alimentos			Temperatura congelador		
Temp1	Temp3	Temp7	Temp2	Temp4	Temp8
8.66	9.14	8.90	-9.17	-8.23	-9.50

Refrigerador WHIRLPOOL 21 pies cúbicos					
Temperatura alimentos			Temperatura congelador		
Temp1	Temp3	Temp7	Temp2	Temp4	Temp8
5.15	4.80	5.08	-13.28	-13.62	-13.60

6.3. Condiciones del cuarto de prueba.

Para garantizar que las pruebas efectuadas de eficiencia energética a los refrigeradores domésticos son confiables, se deben de cubrir las condiciones de funcionamiento y operación que establece la Norma oficial para la cámara fría o laboratorio de pruebas. Los resultados descritos a continuación son muy cercanos a los establecidos para el LAC.

- Promedio de temperatura ambiente durante el transcurso de la prueba: 32.17°C.
- Gradiente vertical de temperatura: 0.88°C por metro.
- Circulación del aire: 0.11 m/s.
- Promedio de alimentación eléctrica: 128.63 V.

6.4. Cálculo del consumo de energía.

El cálculo de consumo de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos se realizó en base a lo establecido en el punto 5.6.4 de este trabajo de investigación. Los resultados hallados se reportan en la tabla 6.5.

Tabla 6.5. Consumo de energía de los refrigeradores probados.

Refrigerador	1er Prueba (Watts)	2da Prueba (Watts)	EP1 (kWh)	EP2 (kWh)	Consumo promedio (kWh/día)	Consumo anual (kWh/año)
ACROS	280.03	281.59	0.78	0.79	1.54	563.43
BENDIX	333.34	292.49	1.33	1.16	1.95	710.61
MABE	234.27	218.40	0.65	0.61	1.43	521.05
WHIRLPOOL	384.36	347.83	1.53	1.39	2.29	835.25

Factor de ajuste.

Para Refrigerador/Congelador y refrigerador convencional el factor de ajuste es 1.63

Volumen ajustado.

Tabla 6.6. Volumen ajustado de los refrigeradores probados.

Refrigerador	Volumen compartimiento de alimentos (dm ³)	Volumen compartimiento congelador (dm ³)	Volumen Total (dm ³)
ACROS	235.01	33.01	288.81
BENDIX	314.69	72.21	418.67
MABE	154.02	30.16	197.46
WHIRLPOOL	385.82	221.01	606.82

6.5. Límite de consumo de energía máximo.

El límite de consumo máximo de energía sirve como parámetro con respecto al consumo de energía que presenta el refrigerador de manera experimental. Ambos consumos se comparan para determinar cuanto es el ahorro o exceso de energía que presenta el refrigerador probado. Los límites para los modelos de refrigeradores probados se presentan en la tabla 6.7 y el ahorro de energía que existe en la tabla 6.8.

Tabla 6.7. Límite de consumo de energía de los refrigeradores probados.

Refrigerador	E _{max} (kWh/año) (1997)	E _{max} (kWh/año) (2002)
ACROS	436.48	337.93
BENDIX	498.29	378.19
MABE	392.99	309.61
WHIRLPOOL	955.98	674.58

Tabla 6.8. Determinación del exceso o ahorro de energía en los refrigeradores.

Refrigerador	E _{max} (kWh/año) 1997	E _{max} (kWh/año) 2002	Consumo experimental (kWh/año)	% de aumento 1997	% de aumento 2002
ACROS	436.48	337.93	563.43	29.09	66.73
BENDIX	498.29	378.19	710.61	42.61	87.91
MABE	392.99	309.61	521.05	32.59	68.29
WHIRLPOOL	955.98	674.58	835.25	-12.63	23.82

Para que el refrigerador de prueba sea aprobado conforme a la Norma³⁸, su consumo de energía debe ser menor o igual al límite de consumo máximo de energía calculado.

Para los refrigeradores ACROS, BENDIX y MABE:

- No pasan ninguna de las 2 Normas (1997 y 2002).

Para el refrigerador WHIRLPOOL

- Pasa la Norma de 1997 con un ahorro del 13%.
- Para la Norma Oficial 2002, el refrigerador tiene un aumento en el consumo del 24%.

A continuación se presentan las figuras del comportamiento térmico de los refrigeradores probados en el Laboratorio de Ambiente Controlado. Las figuras 6.1 a la 6.4 presentan los perfiles de temperatura que existen dentro del compartimiento de alimentos y el compartimiento congelador. Más adelante se analizarán estos comportamientos y se presentarán las posibles causas de éstos.

³⁸ Op. Cit. Norma Oficial. NOM-015-ENER-2002

Figura 6.1. Refrigerador de 9 pies cúbicos Marca ACROS.

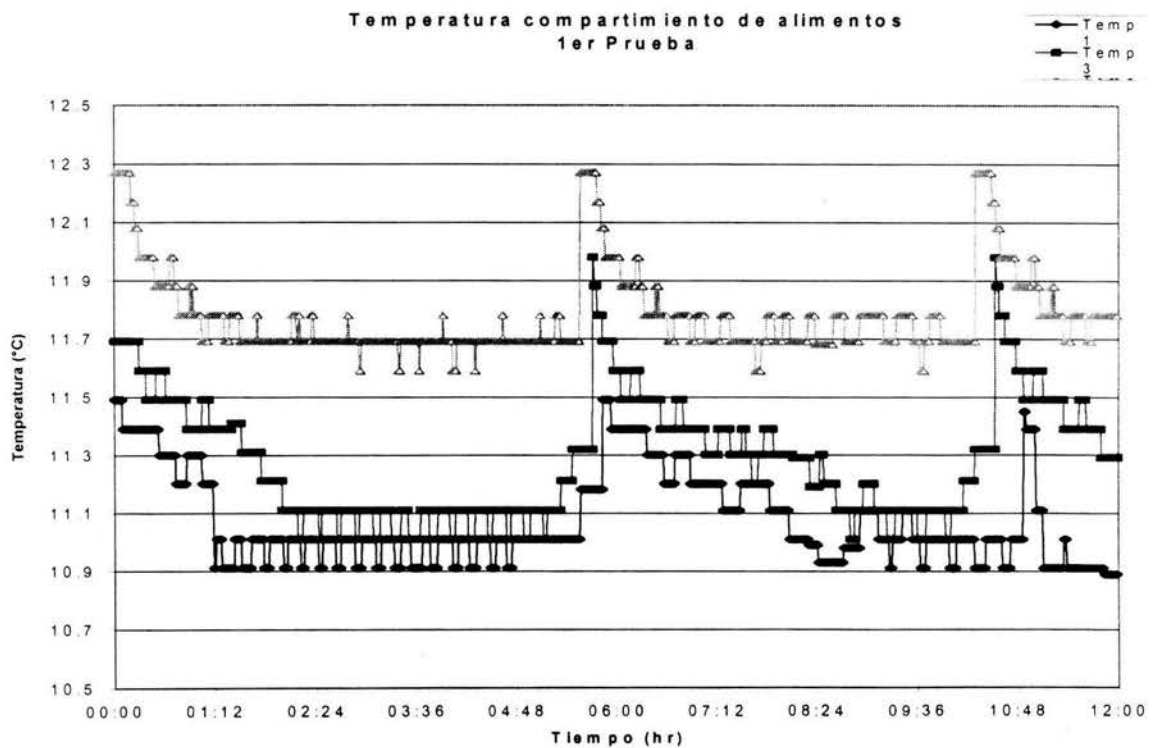
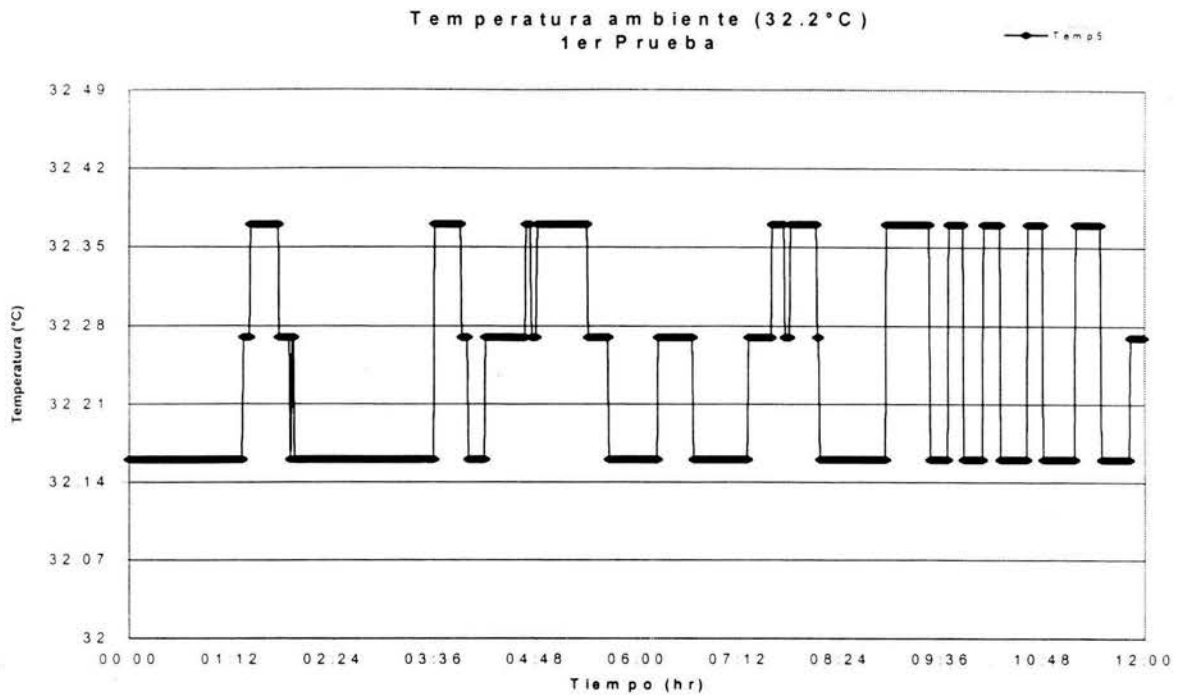


Figura 6.1. Refrigerador de 9 pies cúbicos Marca ACROS (cont).

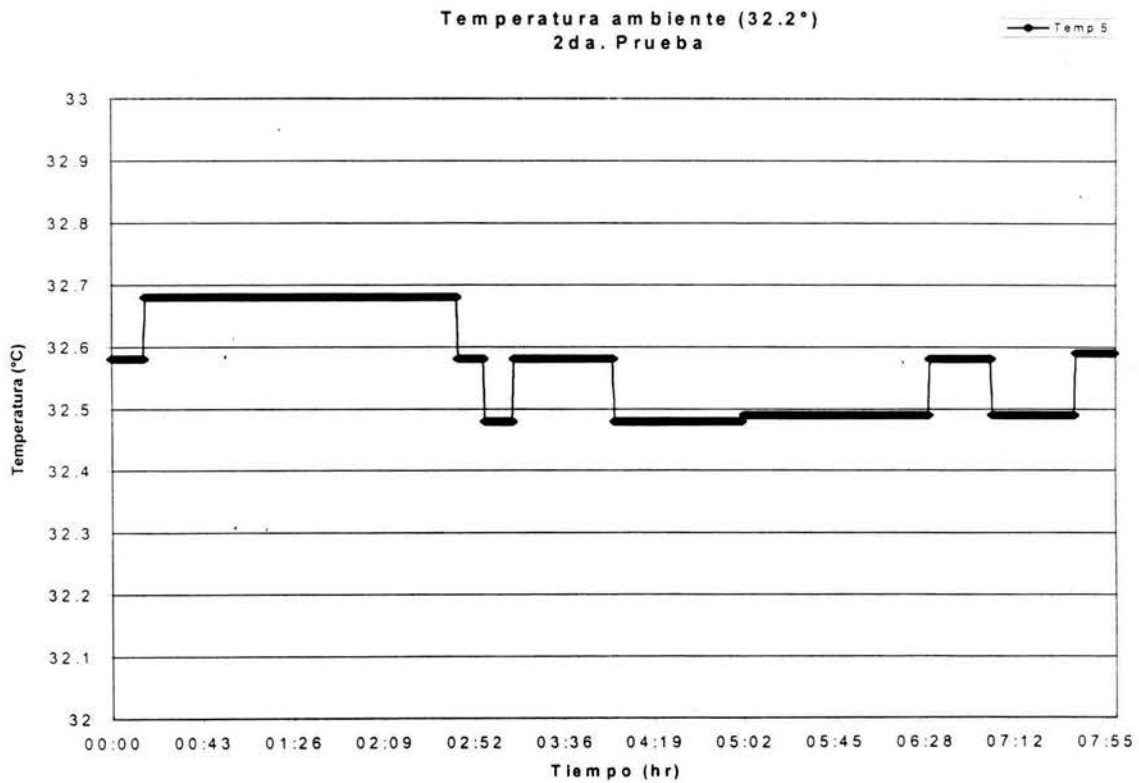
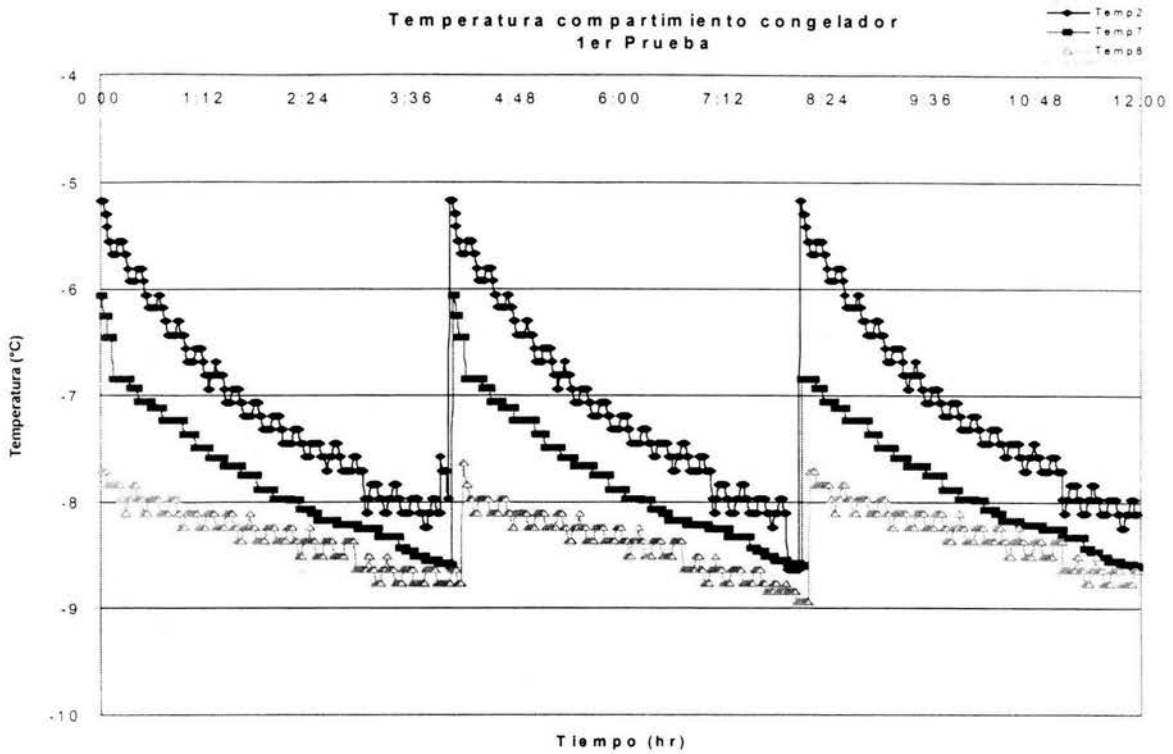


Figura 6.1. Refrigerador de 9 pies cúbicos Marca ACROS (cont).

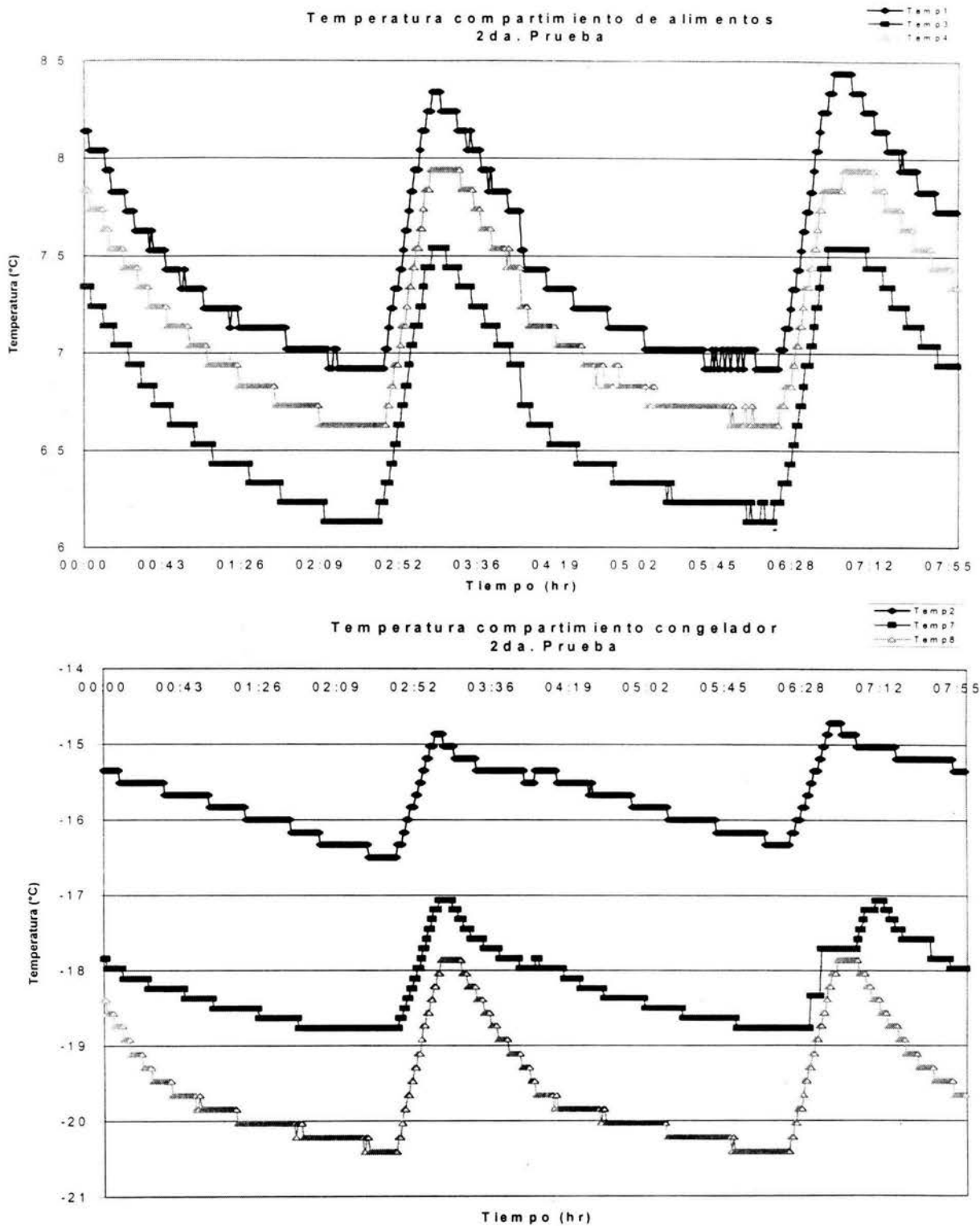


Figura 6.2. Refrigerador de 14 pies cúbicos Marca BENDIX

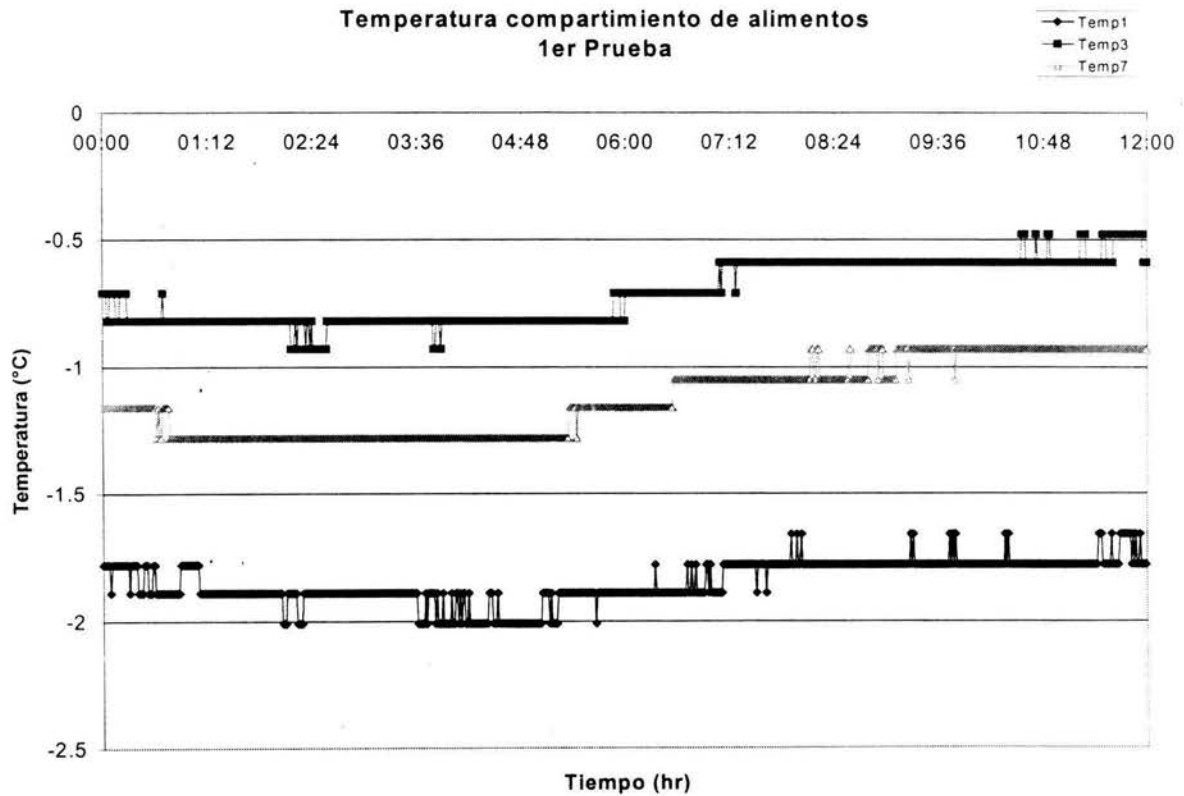
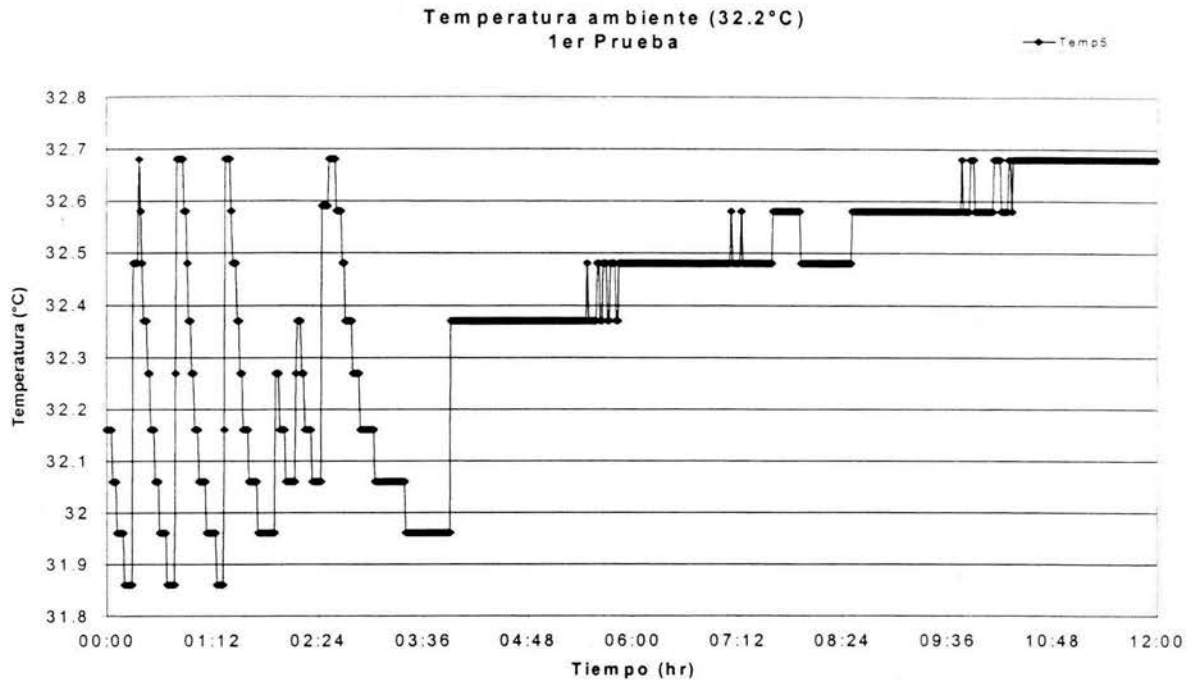


Figura 6.2. Refrigerador de 14 pies cúbicos Marca BENDIX (Cont).

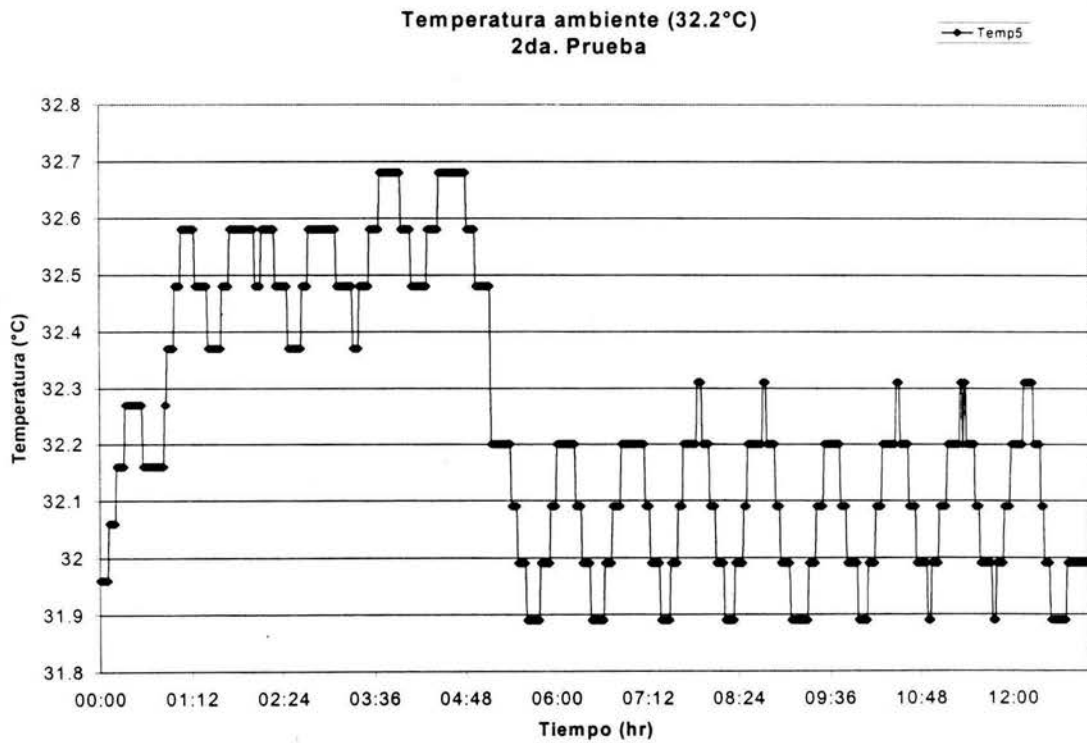
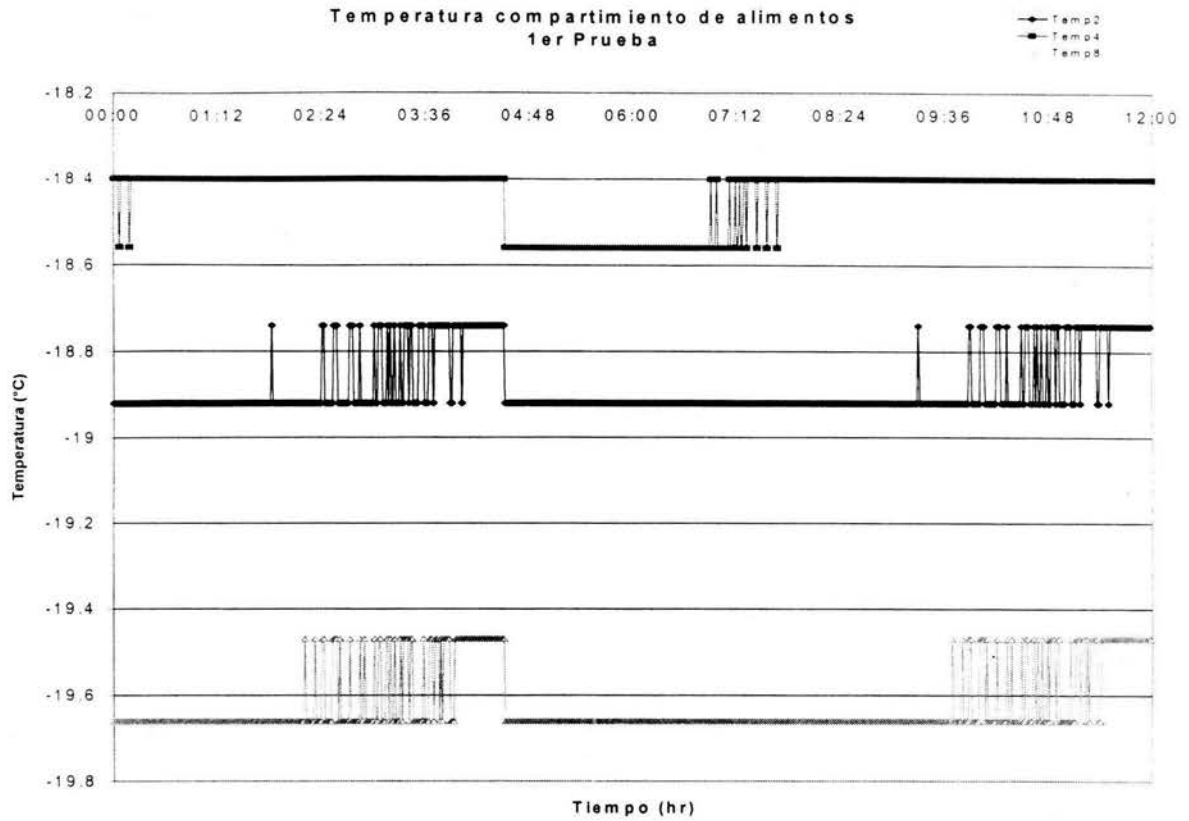


Figura 6.2. Refrigerador de 14 pies cúbicos Marca BENDIX (Cont).

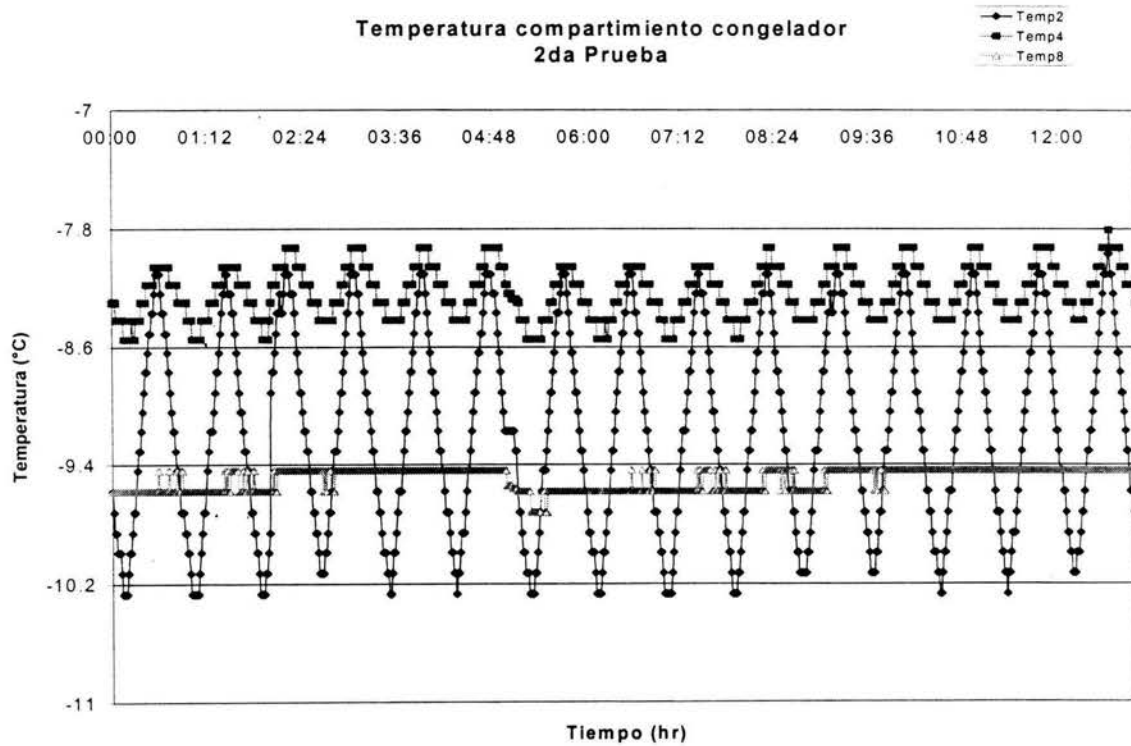
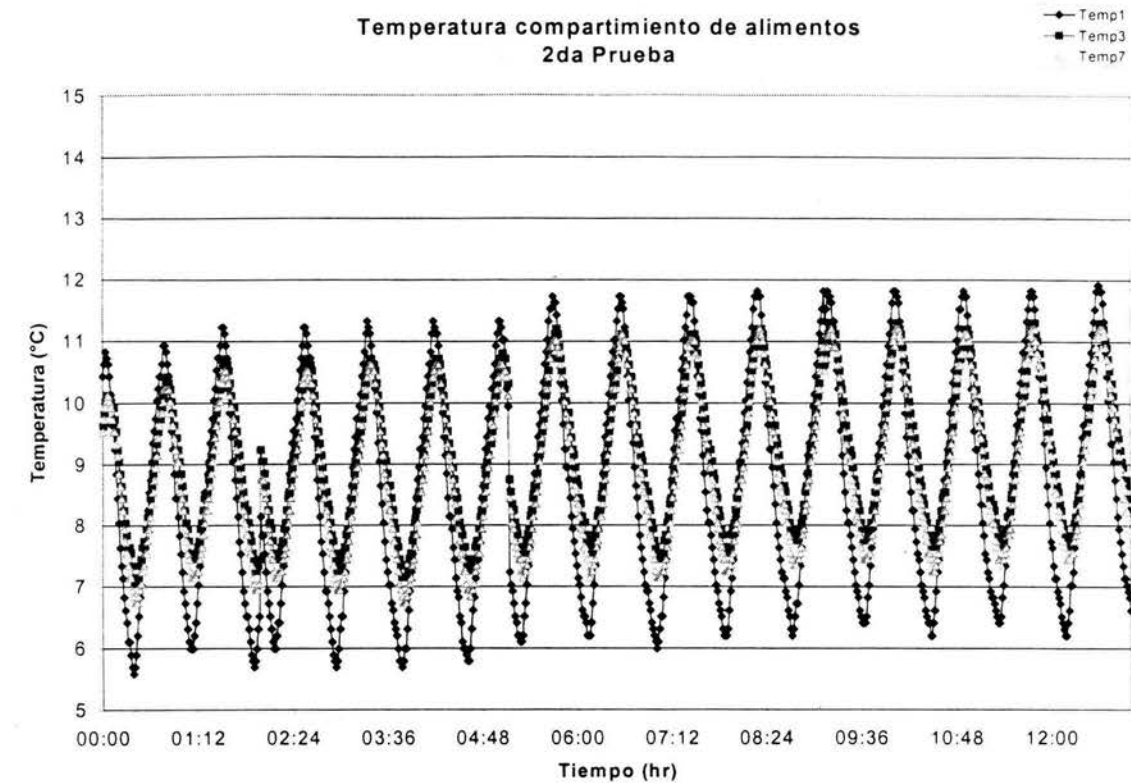


Figura 6.3. Refrigerador de 7 pies cúbicos Marca MABE.

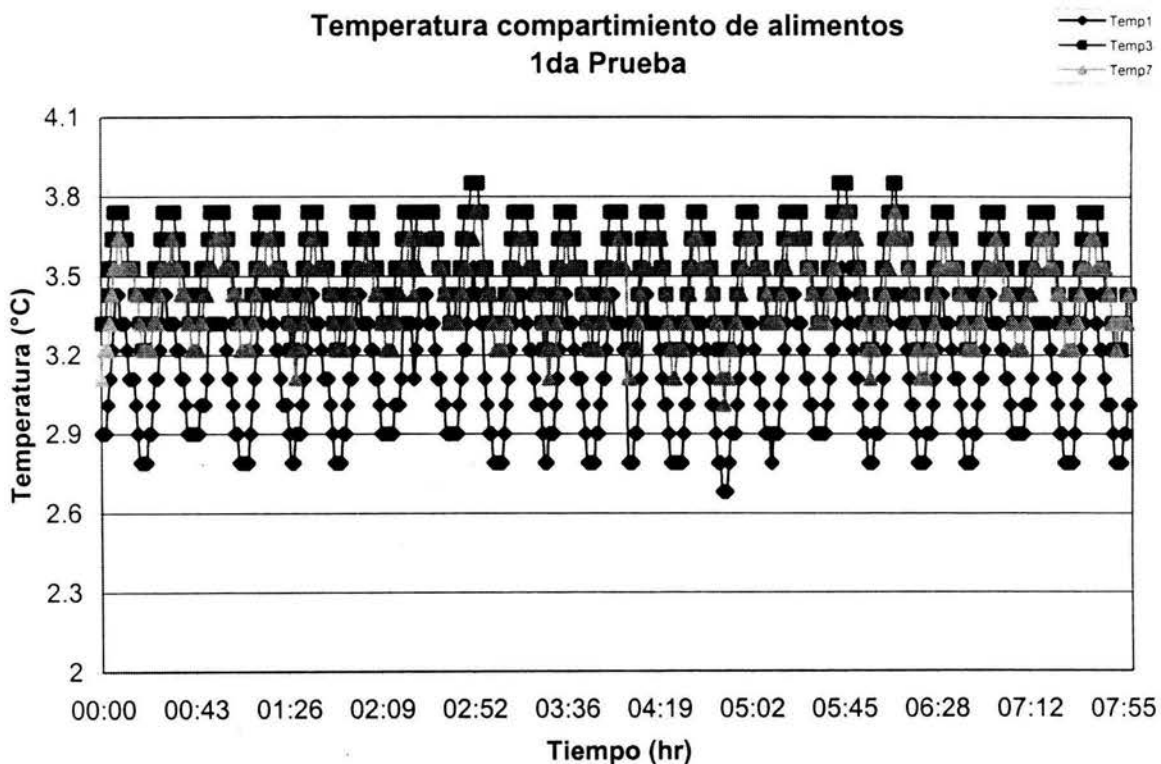
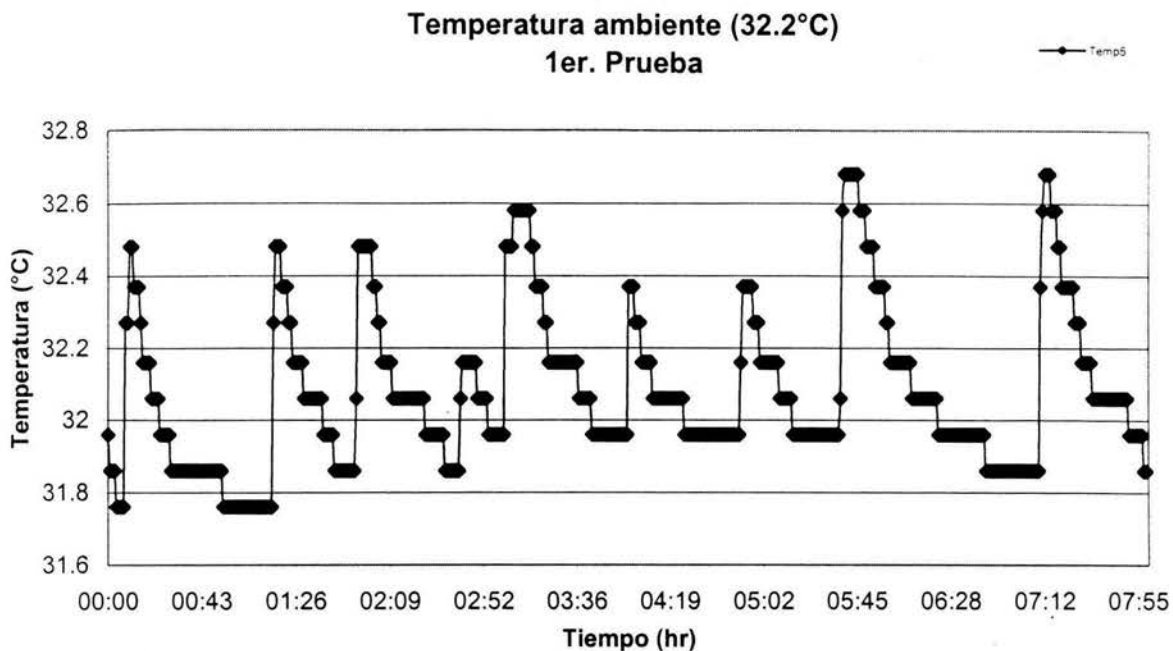


Figura 6.3. Refrigerador de 7 pies cúbicos Marca MABE (Cont).

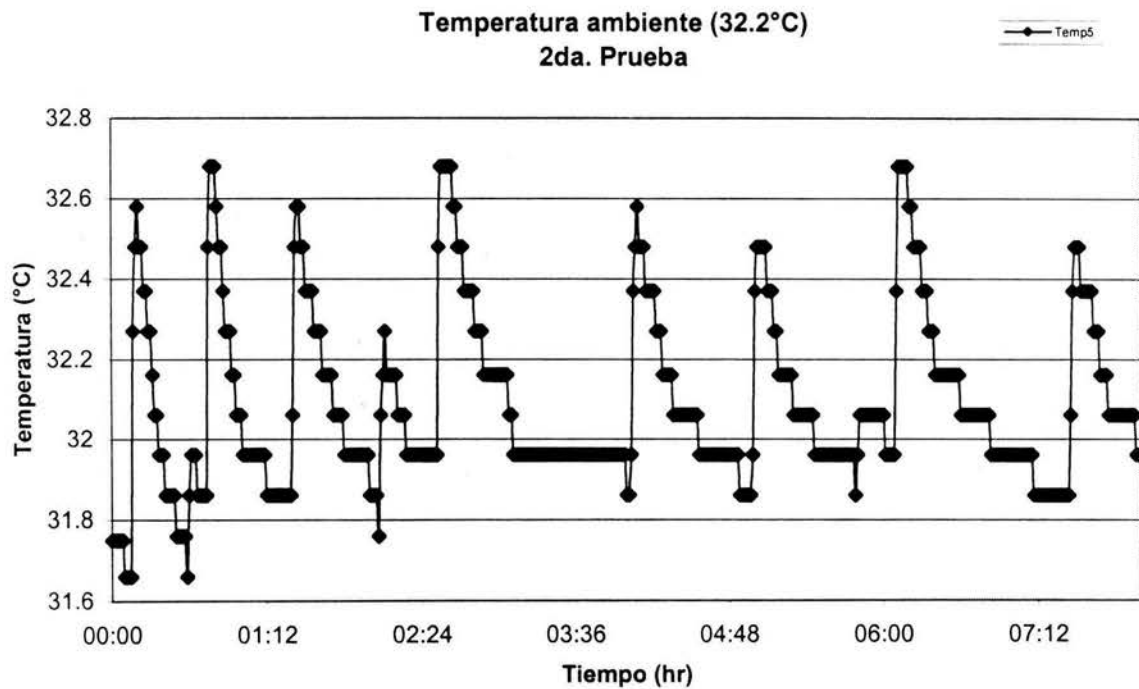
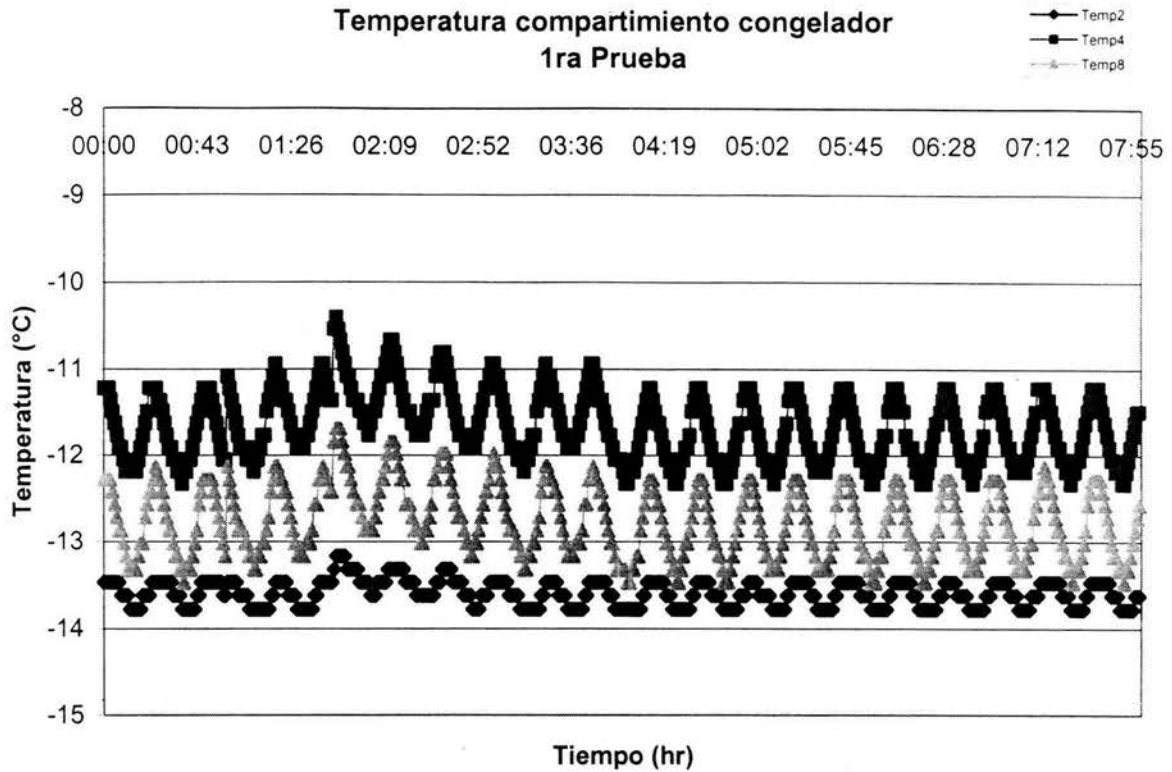


Figura 6.3. Refrigerador de 7 pies cúbicos Marca MABE (Cont).

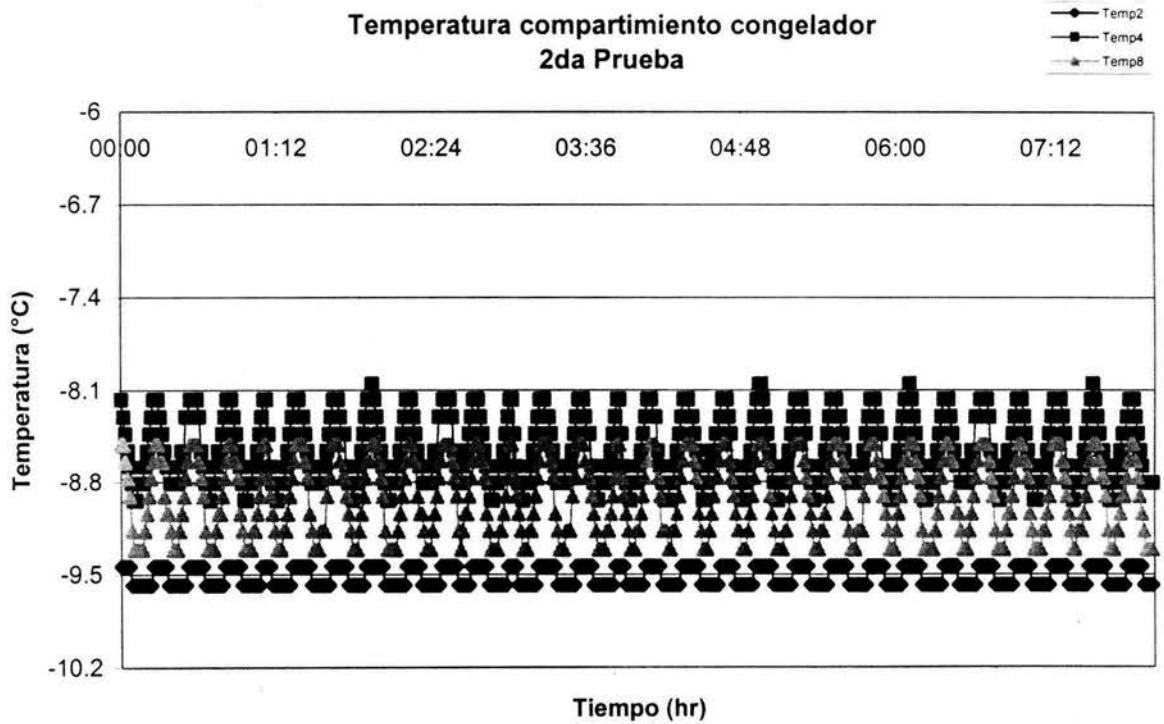
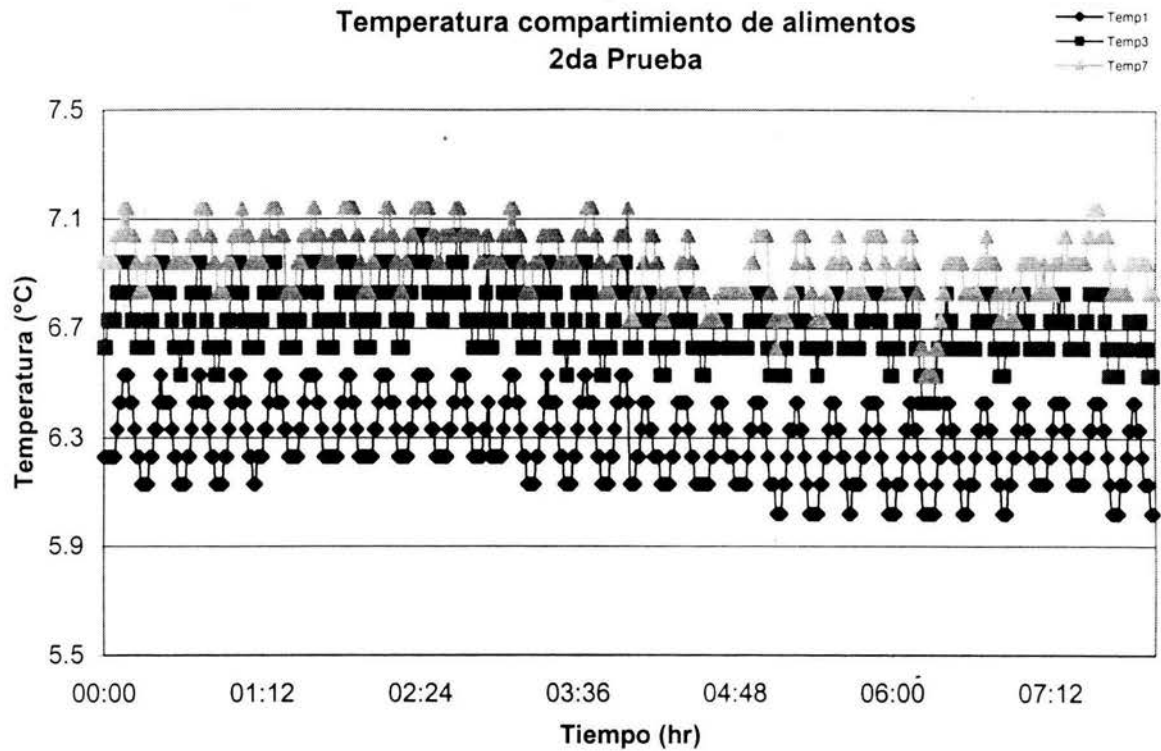


Figura 6.4. Refrigerador de 21 pies cúbicos Marca WHIRLPOOL.

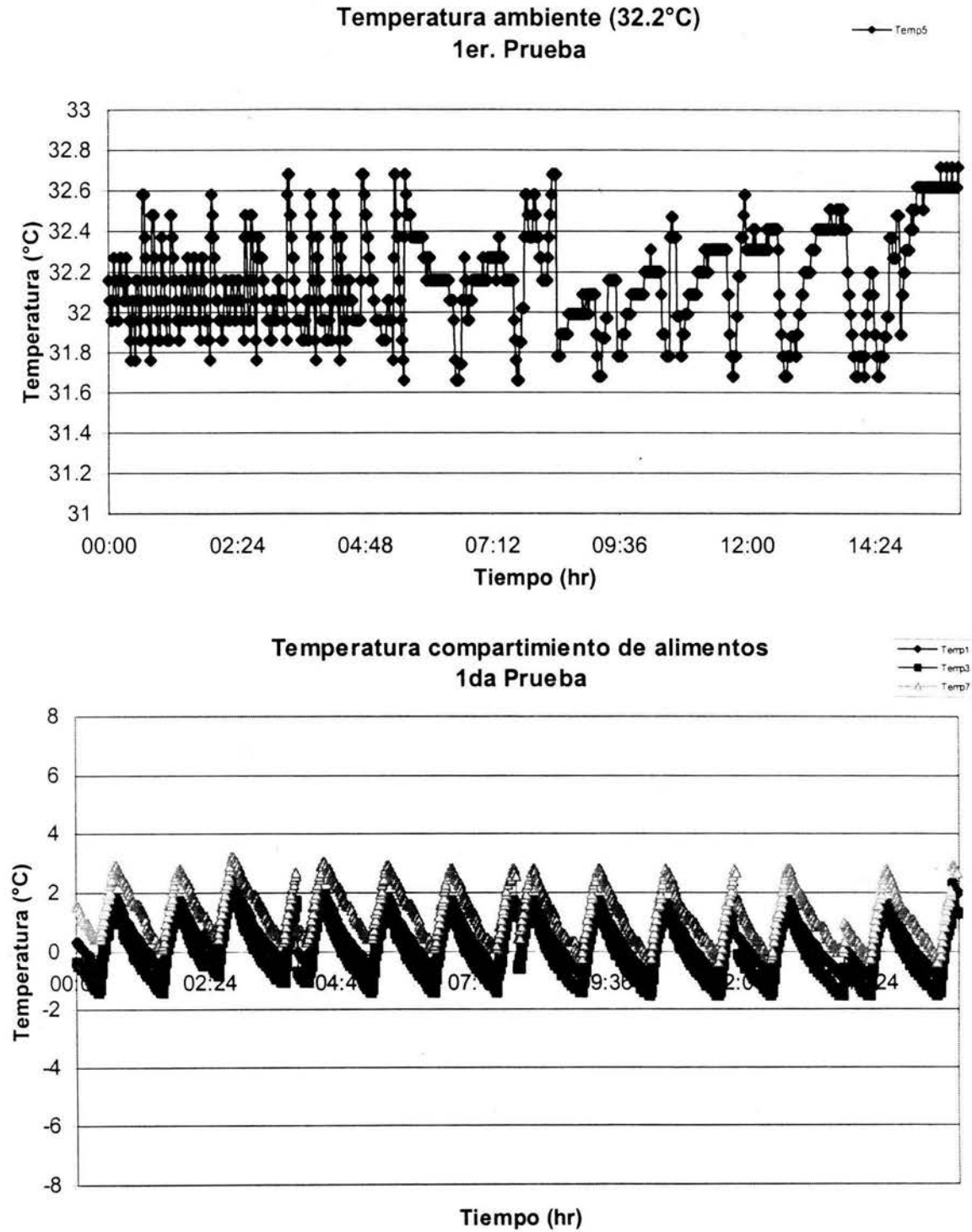


Figura 6.4. Refrigerador de 21 pies cúbicos Marca WHIRLPOOL (Cont).

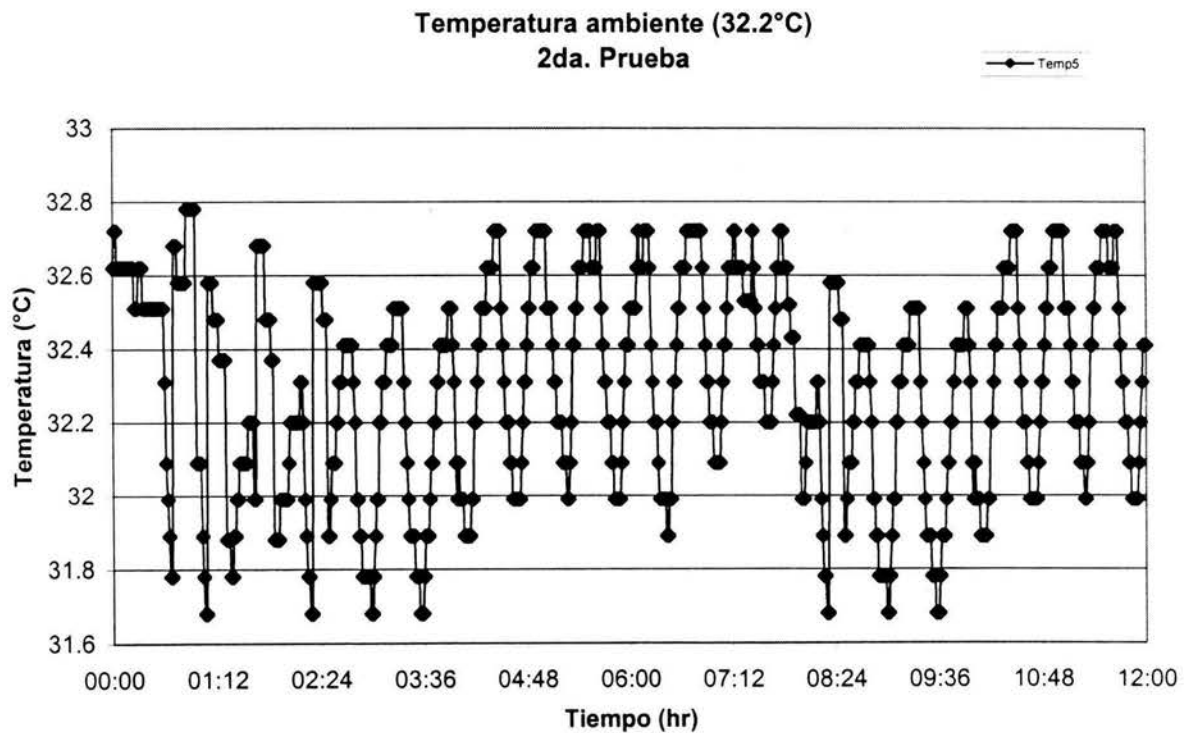
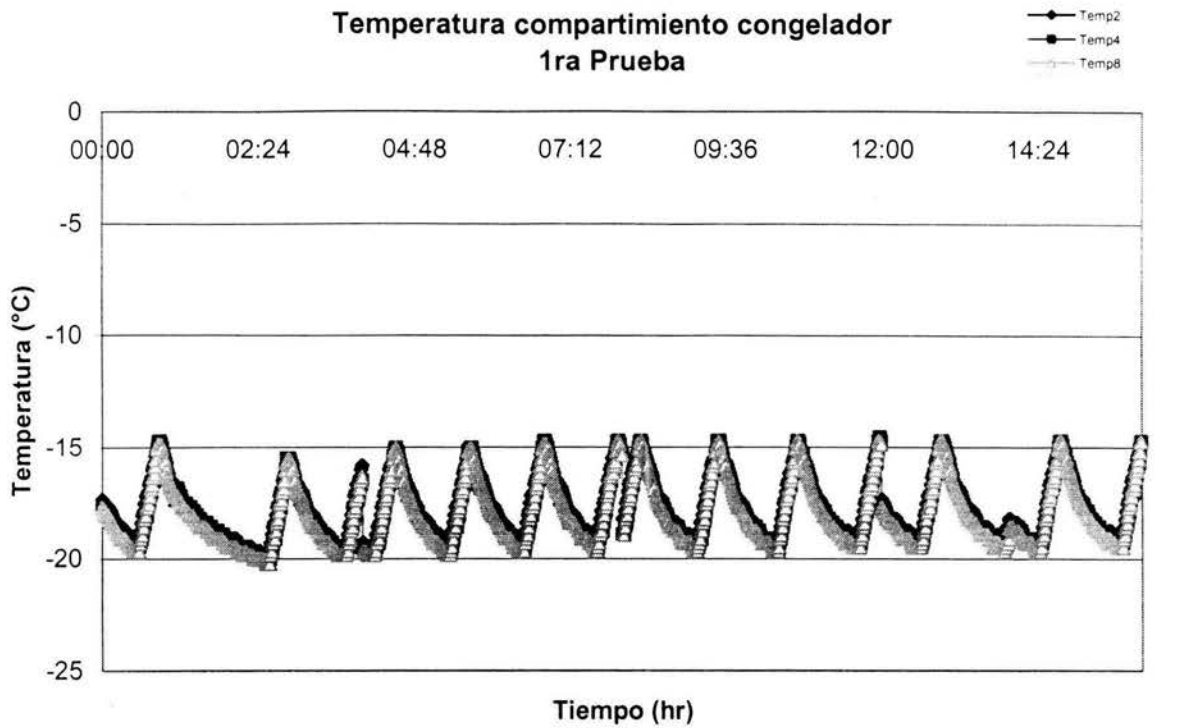
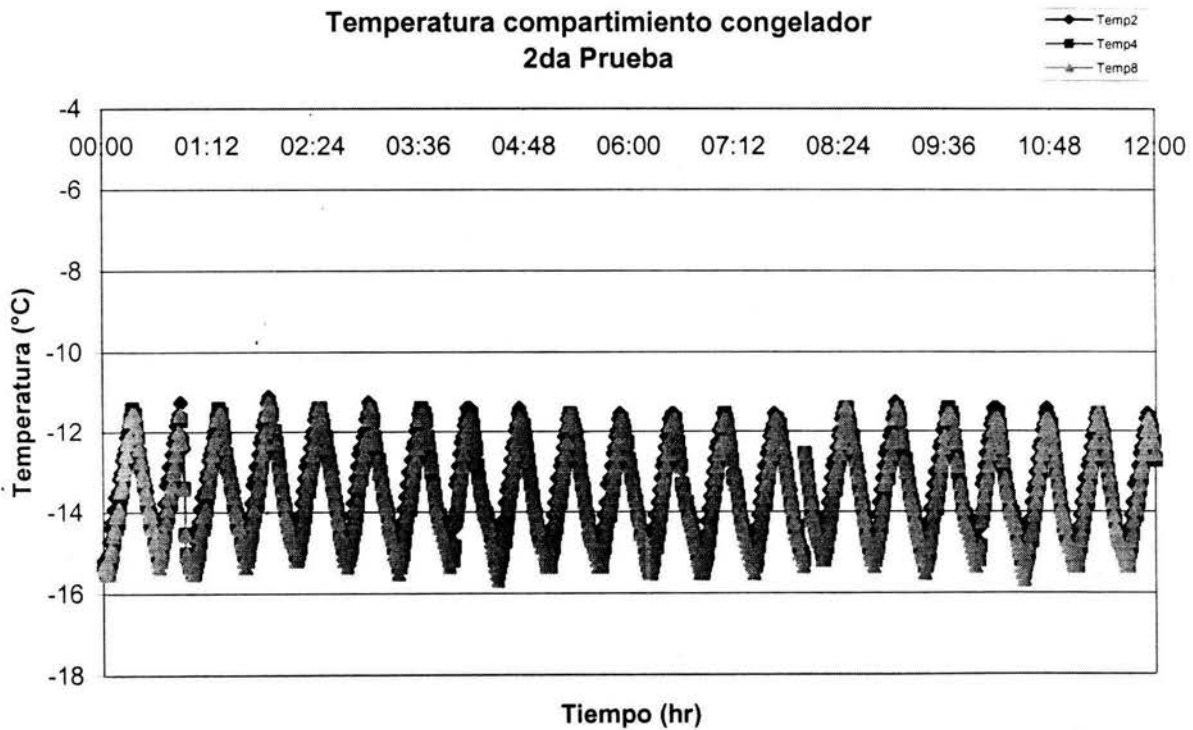
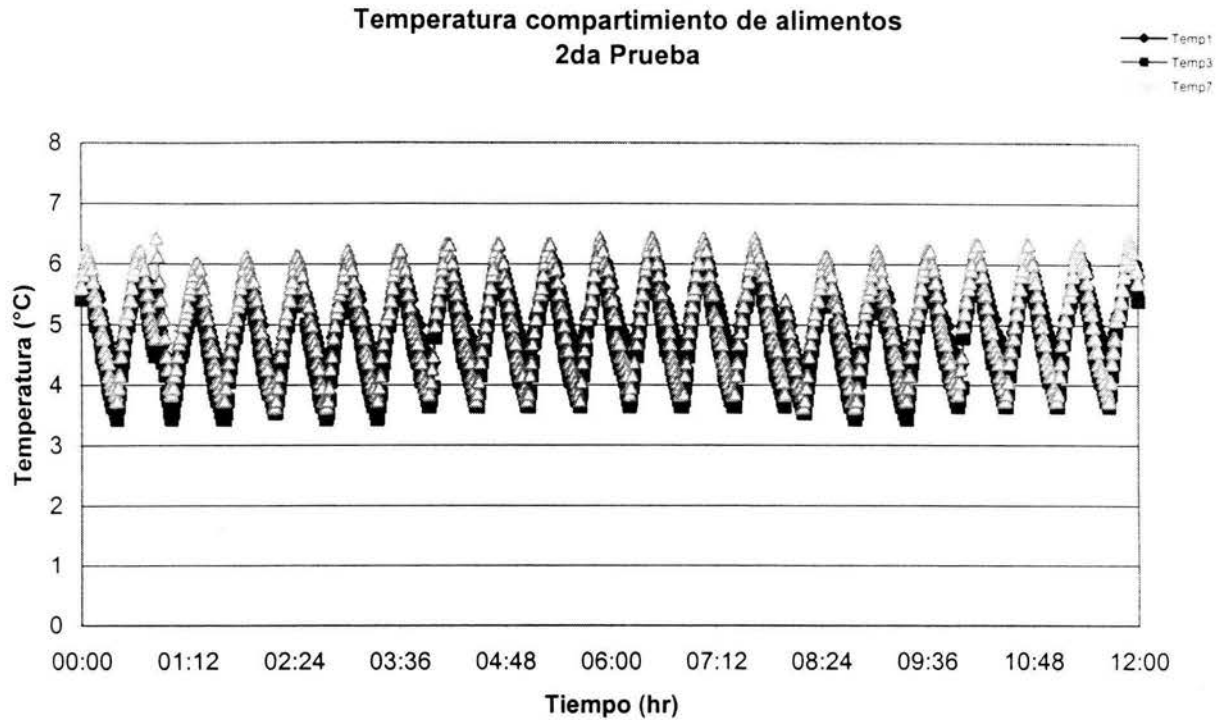


Figura 6.4. Refrigerador de 21 pies cúbicos Marca WHIRLPOOL (Cont).



6.6. Análisis de resultados.

6.6.1. Refrigeradores que no aprobaron los requisitos de la Norma Oficial.

Las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 presentan el comportamiento de los refrigeradores que no aprobaron los requisitos de consumo eléctrico establecido por la Norma oficial. Dentro de estas figuras se indica la estabilidad de la temperatura ambiente dentro del laboratorio de pruebas, esta temperatura como se observa se encontró oscilando alrededor de 32.2°C, que es la temperatura que establece la Norma para efectos de pruebas de eficiencia energética. Al garantizar esta temperatura, se puede llevar a cabo la prueba en su duración total y los resultados son bastantes confiables. También de las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se puede observar que el tiempo de estabilidad de la cámara fría, fue de poco más de 12 horas, lo cual garantiza que la prueba se puede cubrir en su totalidad.

También estas figuras muestran el comportamiento de la temperatura dentro del compartimiento de alimentos. Primeramente se puede observar que la variación de temperaturas que existe dentro de este compartimiento oscila alrededor de 0.7°C, entre cada termistor que se colocó dentro del equipo (Temp1, Temp3 y Temp4). Esto indica que la temperatura no es homogénea porque ya existen algunas fugas de calor en este compartimiento a través de la puerta, dichas pérdidas de calor fueron verificadas a través de diferentes pruebas, tales como el pasar una hoja de papel entre la puerta y el empaque de ésta; lo cual indicó que el contacto magnético entre la puerta y el refrigerador ya es deficiente.

De las mismas figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se observa que los ciclos de operación del compresor fueron de aproximadamente 6 horas, lo cual afecta de manera directa al consumo de energía final del refrigerador, ya que el compresor trabaja varias veces al día. Este aumento en el trabajo del compresor se debe principalmente a que el aislamiento de los compartimientos ya no es tan bueno, y al operar el refrigerador a un set point establecido, le toma mayor tiempo alcanzar dicha estabilidad de temperatura y por consecuencia existe una mayor demanda de energía por parte del refrigerador. Dentro del mismo análisis del comportamiento térmico se observó que en el compartimiento congelador se presenta un gradiente de temperatura entre cada termistor (Temp2, Temp7 y Temp8), el cual oscila alrededor de 1.5°C, revelando una gran pérdida de calor a través de las paredes y la puerta de este compartimiento.

Por otra parte, los modelos de refrigeradores que se probaron, manejan un enfriamiento del compartimiento de alimentos por medio de la convección natural, lo cual quiere decir que el enfriamiento de la parte donde se colocan los alimentos depende del enfriamiento del congelador; y si en él existen fugas o pérdidas de energía, será mayor el consumo por parte del compresor cuando éste pretenda alcanzar las condiciones de temperatura establecidas anteriormente por medio del set point. Las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 muestran las condiciones generales de las primeras partes de cada prueba aplicada a los

modelos de refrigeradores con los que se contaban y sirven para dar paso a la segunda parte de la prueba ya que a través de las temperaturas promedio registradas en el congelador, se procederá a manipular el control de temperatura (set point) a una temperatura mayor o menor, según sea el caso.

La segunda parte de la prueba se describe también en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3, mostrando primeramente el comportamiento de la temperatura ambiente, la cual aumento un poco en comparación con las primeras partes de las pruebas. Esta temperatura se encontró oscilando en los 32.6°C, debido principalmente a que el equipo manejador de aire que existe en el laboratorio, mostró algún cambio, pero para efectos de la prueba esta temperatura también es válida, debido a que la Norma establece que puede existir una variación en el set point de hasta 0.6°C.

De las mismas figuras se percibe la variación de temperaturas dentro del compartimiento de alimentos, esta variación entre los termistores (Temp1, Temp3 y Temp. 4) es del orden de 0.8°C. Esto demuestra nuevamente que existen pérdidas de calor por paredes y la puerta. También se observa que el trabajo del compresor va en aumento, ya que para estos modelos de refrigeradores trabajo cada 3 horas, lo cual implica que es el doble de trabajo que en las primeras partes de las pruebas. Este aumento en el trabajo del compresor se debe principalmente a que la temperatura de consigna del set point se movió; y aunado a las pérdidas de calor, el compresor trabajo más para alcanzar las condiciones de temperatura previamente establecidas.

Por otra parte, también se advierte de las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 el comportamiento del congelador, el cual tiene una variación en el gradiente de temperatura de cada termistor (Temp2, Temp7 y Temp8) de aproximadamente 4°C. Esta variación afecta considerablemente al consumo de energía, ya que el compresor trabaja más y demanda mayor energía eléctrica. La variación de temperatura tiene su origen en el cambio del set point o temperatura de consigna, ya que ésta se vario, ya sea al máximo de enfriamiento permitido por el equipo o al mínimo; y con las fugas que ya existen por parte de los equipos era difícil alcanzar las condiciones anteriormente establecidas.

Con los resultados mostrados el las figuras 6.1, 6.2, 6.3 es posible realizar un análisis general del comportamiento térmico de los refrigeradores domésticos que no aprobaron la prueba de eficiencia energética (Refrigerador MABE, ACROS y BENDIX), ya que se presentan perfiles de temperatura semejantes en ambos compartimientos. Estos refrigeradores en particular tienen una antigüedad de poco más de 13 años, por lo que es preciso señalar que con el uso cotidiano es factible que el aislamiento entre las puertas y el medio ambiente ya no sea el mejor; y como la estabilidad de temperaturas dentro del refrigerador depende en parte del aislamiento o el nulo intercambio de calor; se puede decir que es una de las principales consecuencias de la variación de temperaturas que se presentan dentro del equipo, y como resultado de esta transición existe un aumento en el consumo de energía eléctrica por parte del compresor; debido a que tiene que trabajar más para alcanzar las condiciones térmicas previamente establecidas

Como estos refrigeradores actualmente siguen operando, es necesario hacer una observación para disminuir un pequeño porcentaje del consumo de energía. Ésta sería en base a una recomendación, que es el llevar a cabo el cambio del empaque que cierra la puerta del refrigerador; y con ello se evitarán las fugas o pérdidas de energía que se observaron durante el transcurso de las pruebas.

Por otra parte, es importante señalar que los refrigeradores comercializados antes de 1990, en comparación con los refrigeradores que existen actualmente, eran fabricados con diferentes materiales, los cuales tenían una mayor transferencia de calor; así como también utilizaban o en algunos casos los siguen empleados, fluidos refrigerantes con propiedades térmicas inferiores, en comparación a los refrigerantes SUVAS³⁹ que hoy en día se encuentran en la mayoría de los refrigeradores nuevos.

6.6.2. Refrigerador que aprobó los requisitos de la Norma Oficial.

El refrigerador aprobado corresponde a un modelo que se encuentra dentro de los rangos de operación marcado por la Norma de 1997⁴⁰ y presenta resultados interesantes para analizar. Primeramente es preciso señalar que las pruebas anteriores aplicadas a los distintos modelos de refrigeradores domésticos, consideraron las restricciones y los parámetros que establecen la Norma Oficial en su versión del 2002 y también la de 1997.

El refrigerador aquí probado, paso satisfactoriamente la Norma de 1997 con un ahorro de energía del 12.6%, mientras que para los requisitos que marca la Norma del 2002, no se cumplió con el objetivo de ahorrar energía. Esto se debe principalmente a que las ecuaciones con las cuales se obtienen los consumos máximos de energía (ver Norma Oficial 2002) manejan un valor del volumen ajustado un poco mas restringido al que se manejaba en la anterior Norma de 1997.

Analizando los resultados mostrados en la figura 6.4 para la prueba inicial, se encontró primeramente que la temperatura ambiente a la cual opero la cámara fría se mantuvo dentro del rango establecido por la Norma, y con ello se tuvo la confiabilidad de que la prueba se llevo a cabo conforme a lo establecido por las metodologías mencionadas en el tema 5 de este trabajo de investigación.

La figura 6.4 muestra el comportamiento de la temperatura dentro del compartimiento de alimentos, y se observa que el gradiente entre temperaturas interiores es de 0.2°C (Temp1, Temp3 y temp7). Este comportamiento es bastante aceptable, debido a que los ciclos del compresor se reducen al mínimo y por consecuencia existe un ahorro de energía considerable. También de la misma figura se observa la estabilidad térmica dentro del compartimiento, que en comparación con las otras estabilidades, es

³⁹ Marca registrada para refrigerantes por parte de DuPont México.

⁴⁰ Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-1997; Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos – Límite, métodos de prueba y etiquetado.

muy buena. Este parámetro indica que el aislamiento en toda la superficie es aceptable y que la distribución de temperaturas es bastante homogénea. Estos comportamientos se pueden adjudicar a la constitución del refrigerador, ya que es un modelo muy reciente y maneja otro tipo de enfriamiento en comparación con los otros modelos de refrigeradores analizados.

Para analizar el compartimiento congelador se tiene la figura 6.4, en donde se observa una estabilidad térmica interna bastante aceptable, ya que el gradiente de temperaturas entre termistores es de 0.1°C , como lo marca la Norma Oficial. Con esta estabilidad alcanzada, se puede decir que los ciclos de trabajo del compresor son los mínimos requeridos y por consecuencia el consumo de energía es muy bajo. La explicación de que este tipo de refrigerador tenga estas estabilidades térmicas es básicamente porque el modelo es nuevo, y los materiales con los que está fabricado aun se encuentran dentro del periodo de vida útil. También se puede justificar esta estabilidad porque el sistema de enfriamiento no es como el de los modelos viejos, a través de una inyección de aire por la parte de arriba, sino que manejan el sistema de envolvente hacia todo el compartimiento, esto quiere decir que se inyecta aire frío por varias partes del refrigerador, y que existe un ventilador para asegurar la homogeneidad de temperaturas interiores.

La segunda parte de la prueba se realizó de manera similar a la primera, mostrando los resultados en la misma figura 6.4. Los comportamientos de estabilidad para los comportamientos de alimentos y el congelador son semejantes a los de la primera prueba; con la excepción de la variación de la temperatura de consigna. Si se observa la figura 6.4 se percibe una gran estabilidad térmica; ya que las oscilaciones de temperaturas entre intervalos de tiempo, duran casi 30 minutos, por lo que la temperatura promedio dentro de los compartimientos es muy constante.

Otra observación importante de la misma figura es que la temperatura dentro del refrigerador, ya sea en la parte de los alimentos o en el congelador es homogénea, tanto en el centro geométrico o cerca de las puertas, como en las paredes interiores. Estos resultados eran de esperarse, ya que los aislamientos son buenos y no existen la transferencia de calor entre las paredes y el medio ambiente.

Analizando en general todas las pruebas realizadas a los diferentes modelos de refrigeradores, se puede mencionar un punto importante, que es el aislamiento térmico, ya que el consumo de energía por parte del compresor se encuentra en función de éste: A medida que exista un bajo aislamiento térmico, mayor será el consumo de energía del compresor, debido a que tendrá que trabajar más para poder alcanzar la condición térmica establecida. Por otra parte, la condición térmica no se mantendrá por bastante tiempo debido al bajo rendimiento del aislamiento, y por consecuencia el compresor tendrá que trabajar un número de veces mayor al normal.

Otro punto para discutir en relación al consumo de energía de los refrigeradores, es el valor de la tensión de alimentación. Para la prueba aplicada al refrigerador marca Whirlpool (tema 6.4) se consideró un valor del voltaje de alimentación del 127 volts ± 10 volts y se obtuvo un consumo de energía anual (tema 6.5) de 835.2 kWh/año. Este refrigerador contaba con la etiqueta de eficiencia energética, y el valor que reporta para el consumo de energía anual se basa en una tensión de alimentación de 115 volts, teniendo un consumo de 781.3 kWh/año; por lo que si se comparan ambos valores, se observa que existe una diferencia de 54 kWh/año.

Por ello se podría suponer que el valor de la tensión influye en el aumento que presenta el consumo de energía que se obtiene al final de la prueba, pero de igual forma se asumiría que existe la necesidad de comprobar teórica o experimentalmente esta suposición. Lo cual es un punto importante para analizar en futuros trabajos de investigación relacionados con este tema; debido a que el alcance que existía en el Laboratorio de Ambiente Controlado al momento de llevar a cabo las pruebas, no permitía realizar la variación del voltaje de alimentación.

6.7. Resumen.

Durante el desarrollo de estas pruebas se encontraron resultados importantes con respecto a las condiciones de operación de los refrigeradores domésticos; para cualquier casa habitación del país se tiene contemplado una tensión de alimentación de 127 volts, mientras que la Norma marca, que los refrigeradores a probar deben trabajar con una tensión de 115 volts. Por tal razón, una propuesta importante por parte de este trabajo de investigación será la de quitar la homologación del valor del voltaje de alimentación para México y llevar a cabo las pruebas de eficiencia energética con el valor del voltaje al que realmente van a trabajar los refrigeradores, y con ello determinar realmente cuanto es el consumo de energía que presentan los refrigeradores domésticos al trabajar a las condiciones, tanto climáticas como eléctricas que existen actualmente al el País.

Otros resultados interesantes que se hallaron al realizar las pruebas de eficiencia energética a los refrigeradores domésticos, fue la evolución térmica de los compartimientos interiores de los equipos. Como se observo en las figuras, mientras más antiguo era el refrigerador, mayor era el diferencial de temperatura dentro del compartimiento de alimentos y congelador, tal como se observa en la figura 6.2, para un refrigerador del año 1970, la variación de temperaturas dentro de los compartimientos en muy grande, debido a que el aislamiento que debe existir entre el refrigerador y el medio ambiente ya no es bueno.

Una observación interesante, son los ciclos de operación que se presentaron en los refrigeradores de 1970 y 1980; éstos se llevaban a cabo aproximadamente cada 3 y media horas, y por consecuencia el consumo de energía por parte de los refrigeradores era mayor. Estos intervalos de tiempo tan cortos entre ciclos de operación, se deben

también al aislamiento, el cual produce un intercambio de calor entre los compartimientos y el medio ambiente. Con estos comportamientos térmicos, se puede presentar también una alternativa de reducción del consumo de energía para las personas que no pueden o no desean cambiar su refrigerador, la cual es, un mejoramiento en los aislamientos que existen entre la puerta y el gabinete del refrigerador, ya sea cambiándolos, o sellando el refrigerador por fuera con algún aislante.

Dentro de las pruebas realizadas, también se probó un refrigerador de modelo reciente (modelo 1997), de donde se obtuvieron resultados atractivos para analizar. Observando la figura 6.4, se presenta el comportamiento térmico de los compartimientos dentro del refrigerador; el cual bastante aceptable, ya que se mantienen constantes las temperaturas interiores y la variación de temperatura es mínima, comparándola con los otros modelos de refrigeradores que se probaron.

También es preciso señalar que los ciclos de operación del compresor, a diferencia de los otros refrigeradores, son mucho más largos; y el consumo de energía eléctrica se reduce de manera significativa. El que los ciclos de operación del compresor sean de aproximadamente 12 horas para estos modelos de refrigeradores, se debe a que el aislamiento es bastante aceptable y los materiales con los que se fabrican los refrigeradores actualmente presentan una conductividad térmica muy baja, en comparación con los materiales con los que fueron fabricados los otros refrigeradores que se probaron dentro de este trabajo de investigación.

7. Conclusiones.

En este trabajo de investigación se realizó una amplia investigación del número y tipo de refrigeradores domésticos que actualmente están en uso en el país, tomando como base los datos estadísticos de INEGI y de la ANFAD. Posteriormente se realizó una investigación de campo para conocer todos los fabricantes nacionales e importadores de refrigeradores en México.

Con la información anterior fue posible realizar una estimación de la distribución del parque de refrigeradores doméstico para cada uno de los Estados que integran el país. Se obtuvo que el parque nacional supera los 16 millones de refrigeradores y que la venta anual es del orden de 1.5 millones. La distribución en el país es bastante heterogénea, pues se tienen Estados prácticamente con saturación de este bien y un promedio de 1 refrigerador por hogar, mientras que otros apenas alcanzan un equipo por cada dos casas. El promedio nacional es de 0.8 refrigeradores por vivienda electrificada.

Tomando como base el consumo actual de cada modelo de refrigerador según su capacidad, definido en la NOM-015- ENER-2002, se evaluó el consumo nacional de energía eléctrica por refrigeración doméstica. Este asciende a 11.7 TWh/año, que es una cantidad significativa, ya que representa el 34.5% del total de energía eléctrica consumida en el sector residencial mexicano en 2001.

También se calculó la energía que se podría ahorrar en caso de reemplazar los refrigeradores antiguos de baja eficiencia por modernos de alta eficiencia, obteniéndose que el ahorro podría ascender a 5.2 TWh/año equivalentes al 44.5% del consumo actual de energía eléctrica y liberar una capacidad instalada del orden de 1,000 MWe. Para poder acceder a ese potencial es necesario contar con un programa gubernamental que apoye económicamente, la adquisición de los nuevos refrigeradores domésticos con mejor tecnología. La sustitución del parque de refrigeradores se puede llevar a cabo a través del gobierno federal de cada uno de los Estados de la República; considerando el número de refrigeradores que existen, el número de habitantes, la condición socioeconómica de las localidades y los límites climáticos que existen durante la mayor parte del año.

Por otra parte, las siguientes actividades de este trabajo de investigación, también se han orientado al estudio de campo de la composición del parque de refrigeradores, para ratificar o rectificar los datos empleados en la evaluación del consumo real de electricidad por el concepto de refrigeración, considerando las distintas edades y capacidades actualmente en operación. Esta última actividad se hace en el Laboratorio de Ambiente Controlado de la Universidad Autónoma Metropolitana. Dicho laboratorio tuvo gran importancia dentro de este trabajo, ya que en él se desarrolló todas las pruebas experimentales, y permitió obtener consumos de energía eléctrica en base los parámetros eléctricos que existen actualmente en el País.

La primera parte de las pruebas, consistió en verificar si las instalaciones del Laboratorio de Ambiente Controlado cumplían con los requisitos marcados por la Norma, para las pérdidas de calor por fugas o intercambio de calor con las paredes adyacentes, y se observó que la cámara fría se mantiene a una temperatura de consigna durante un tiempo favorable para las pruebas

Una vez demostrada la eficacia de funcionamiento del laboratorio y habiendo verificado las condiciones para llevar a cabo las pruebas a los refrigeradores domésticos, se procedió a la elaboración de las metodologías para efectuar las pruebas de eficiencia energética, dependiendo del tipo, sistema de deshielo y capacidad de almacenamiento. Dichas metodologías se desarrollaron en base a la NOM-015- ENER-2002, considerando las condiciones de operación del equipo a probar, el tiempo que debe de transcurrir la prueba y el tipo de procedimiento que se debe seguir para determinar el consumo anual de energía.

Al elaborar estas metodologías, se pueden saber cuales son los parámetros más importantes a considerar, tales como el voltaje de alimentación, las condiciones de estabilidad térmica o el tiempo establecido para cada prueba. Esto con la finalidad de conocer los parámetros que afectan, ya sea directa o indirectamente a la eficiencia del refrigerador.

Durante el desarrollo de las pruebas se encontraron resultados importantes con respecto a las condiciones de operación de los refrigeradores domésticos; ya que en México para cualquier casa habitación del país se tiene contemplado una tensión de alimentación de 127 volts, mientras que la NOM-015- ENER-2002 marca que los refrigeradores a probar deben trabajar con una tensión de 115 volts. Esta variación en la tensión probablemente afecto a la eficiencia de los refrigeradores que anteriormente habían sido probados dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado.

Sin embargo se tendrán que realizar estudios más profundos en este campo para determinar si en verdad este parámetro, es la posible causa en el aumento del consumo de energía. Por tal razón, una propuesta importante por parte de este trabajo de investigación será la de quitar la homologación del valor del voltaje de alimentación para México y llevar a cabo las pruebas de eficiencia energética con el valor del voltaje al que realmente van a trabajar los refrigeradores.

Otros resultados que se hallaron al realizar las pruebas de eficiencia energética a los refrigeradores domésticos, fue la evolución térmica de los compartimientos interiores de los equipos, ya que mientras más antiguo era el refrigerador, mayor era el diferencial de temperatura dentro del compartimiento de alimentos y congelador. Así como también, una observación importante son los ciclos de operación que se presentaron en los refrigeradores de 1970 y 1980; ya que éstos se llevaban a cabo aproximadamente cada 3 y media horas, y por consecuencia el consumo de energía por parte de los refrigeradores

era mayor en comparación con los modelos de refrigeradores nuevos, los cuales presentan ciclos de operación de poco más de 12 horas.

Por todo lo anterior, es importante considerar a la brevedad posible la sustitución del parque de refrigeradores domésticos actual, por modelos de alta eficiencia, ya que los recursos energéticos del país van en decremento día con día; y la demanda de energía eléctrica para uso doméstico aumenta en gran medida, y de igual forma el número de usuarios de refrigeradores domésticos.

8. Bibliografía.

1. **ANCE (1997)**. Listado de productos certificados. Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetados. Diario oficial, Enero 1997.
2. **ANFAD (2001a)**. Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos. Memoria estadística de aparatos electrodomésticos 2001.
3. **Arroyo Cabañas Fernando G. 2001**. "Propuesta para la acreditación del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC) de la UAM-I ante la Entidad Mexicana de Acreditamiento". Seminario de proyectos de Ingeniería en Energía. UAM-I. México D.F 2001.
4. **ATPAE 2003**. Memorias del XXII Seminario nacional sobre el uso racional y eficiente de la energía y exposición de equipos y servicios. Agosto 2003. Olvera, Luis. Programa Piloto Para Sustitución de Refrigeradores Domésticos.
5. **Balance Nacional de Energía 2000**. Secretaría de Energía 2000.
6. **Bernal Soriano Alberto. 2002**. "Análisis de la instrumentación y del control del Laboratorio de Ambiente Controlado". Informe de Seminario de Proyectos de Ingeniería en Energía. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. Mayo 2002.
7. **Boles Michael**. Termodinámica Tomo II. 2da Edición. Editorial Mc Graw Hill. 1996
8. **Campero, Eduardo. 1991**. "Impacto de los refrigeradores domésticos en el consumo de energía en el sector residencial". 1era Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano. México D.F. UNAM 1991.
9. **CONAE (2002)**. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Boletín de prensa. México, D.F., 23 de septiembre de 2002.
10. **CONAE (2003)**. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Boletín de prensa. México, D.F, Abril de 2003.
11. **González Roa José. 2001**. "Puesta en marcha y caracterización de las cámaras de Ambiente Controlado de la UAM-Iztapalapa". Informe de Seminario de Proyecto de Ingeniería en Energía. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F. Febrero 2001.

12. **Norma Oficial Mexicana. NMX-I-007/49-1984.** Equipos y componentes electrónicos. Métodos de pruebas ambientales y de durabilidad. Parte 49 - Prueba Z/AD: Prueba cíclica compuesta de temperatura y humedad.
13. **Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-1997;** Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos – Límite, métodos de prueba y etiquetado.
14. **Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002;** Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos – Límite, métodos de prueba y etiquetado. Diario Oficial, México D.F., 15 de Enero del 2003.
15. **Pilatowsky Figueroa, Isaac. 1998.** "La Cadena del Frío en México". Revista Industria Alimentaria, Vol. 20. No. 3, Mayo-Junio 1998.
16. **PROFECO (1999).** Revista del Consumidor No. 279, Mayo 1999. Calidad de Refrigeradores. México D.F. Mayo de 1999.
17. **Programa Sectorial de Energía 2001-2006.** México, 2004.
18. **Rodríguez Elizarraraz, Gustavo. 1991.** "Análisis de la relación ingreso familiar-gasto frente al consumo energético familiar". 1^{era} Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano. México D.F. UNAM 1991.
19. **Romero Paredes Hernando, Ambríz García Juan Jose 1989.** "Uso eficiente de la energía en refrigeración" Programa Universitario de Energía. Facultad de Ingeniería. UNAM. 1989.
20. **SENER. Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011.** Secretaria de Energía, México D.F. Diciembre de 2002.
21. **Sterling, J. E. 1977.** "Energy factor: A measure of the efficiency of a household refrigerator, ASHRAE, Volt 83, Part I, 1977

Páginas Web.

1. <http://www.inegi.gob.mx>
Visitada Junio 2003.

2. <http://www.dgn.gob.mx/normas>
Visitada Mayo 2002

9. Anexo.

5.2.5. Definiciones.

Aparato: Se refiere a cualquiera de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos cubiertos por la Norma NOM-015-ENER-2002.

Capacidad bruta refrigerada: Volumen total refrigerado, indicado en decímetros cúbicos (dm^3).

Ciclo: Período de 24 h para el cual se calcula el consumo de energía.

Ciclo de deshielo: Tiempo que transcurre entre el inicio de un periodo de deshielo hasta el inicio del siguiente periodo de deshielo, tomando en cuenta todos los ciclos del motocompresor.

Ciclo normal: El ciclo en el cual, cuando el refrigerador cuenta con una resistencia anticondensación, ésta opera en su condición de máximo consumo de energía.

Ciclos incompletos del motocompresor: Funcionamiento del motocompresor con un solo encendido y/o apagado durante el periodo de prueba.

Ciclos inexistentes del motocompresor: Funcionamiento del motocompresor continuo durante el periodo de prueba.

Ciclos normales completos del motocompresor: Funcionamiento del motocompresor con más de un encendido y/o apagado durante el periodo de prueba.

Compartimiento congelador: Es el espacio del aparato en el que se puede congelar agua y/o alimentos a temperaturas menores de 0°C . Existen dos tipos básicos:

- Compartimiento congelador incorporado: se localiza dentro del compartimiento de alimentos.
- Compartimiento congelador independiente: se localiza fuera del compartimiento de alimentos y tiene puerta de acceso independiente.

Compartimiento de alimentos: Es el espacio interior del aparato en donde se mantienen los alimentos a una temperatura de $4^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$. Puede estar dividido en varios compartimientos individuales.

Condición térmica estable: Es una condición que se establece durante el tiempo de estabilización bajo las condiciones de operación continua o ciclos del motocompresor en la que el promedio de la temperatura del compartimiento o la temperatura de los paquetes de carga, lo que aplique, no varíe más de 0.6°C (1°F) en dos ciclos (si los ciclos ocurren)

o 2 h, lo que resulte mayor. Si el aparato no realiza ciclos de motocompresor, la temperatura promedio entre dos lecturas cualesquiera, no variará más de 0.6°C (1°F) para un periodo de 2 h inmediato anterior a un ciclo de deshielo, si es aplicable. Si esta condición no se reúne, entonces el promedio de temperatura durante un periodo de 2 h anterior a cualquier ciclo de deshielo, si es aplicable, no debe variar más de 0.6°C (1°F) cuando se compare a la temperatura promedio durante 2 h del periodo anterior al próximo ciclo de deshielo.

Congelador electrodoméstico: Aparato que está diseñado para almacenar alimentos por periodos prolongados, a temperaturas de -17.8°C o menores. Es enfriado por medio de un sistema refrigerante alimentado con energía eléctrica.

Congelador horizontal: Congelador electrodoméstico cuyo acceso se hace por una puerta colocada en la parte superior.

Congelador vertical: Congelador electrodoméstico cuyo acceso se hace por una puerta frontal.

Deshielo: Eliminación de la escarcha acumulada en el evaporador.

Deshielo ajustable: Sistema de deshielo en el que un dispositivo electromecánico, control de deshielo ajustable (identificado como CDA), registra el tiempo total del periodo de deshielo y lo compara con un tiempo de referencia para incrementar o reducir el tiempo del próximo ciclo de deshielo. El sistema de deshielo automático de larga duración (excepto la condición de deshielo de 14 h, que no aplica) en el que los ciclos de deshielo sucesivos se determinan, además del tiempo de operación del compresor, por una o más variables de las condiciones de operación. Esta variable o variables incluyen cualquier dispositivo eléctrico o mecánico. El deshielo por demanda es un tipo de control particular de deshielo ajustable.

Deshielo automático: Sistema de deshielo que se efectúa en forma automática y se consigue por medio de un mecanismo incorporado en el control. El agua de deshielo se elimina siempre en forma automática.

Deshielo automático de duración larga: Sistema de deshielo automático, en los cuales los ciclos de deshielo operan en tiempos cuya separación entre sí es mayor a 14 h (tiempo de operación del motocompresor).

Deshielo manual: Sistema en el que el deshielo se inicia manualmente (al desconectar el aparato de la alimentación eléctrica) y se termina manualmente (al conectar nuevamente el motocompresor a la alimentación) y ocurre por la elevación de temperatura del evaporador al no haber enfriamiento. Generalmente el agua del deshielo se deposita en una charola que se retira manualmente una vez concluido el deshielo.

Deshielo parcialmente automático; deshielo cíclico: Sistema en el que las superficies refrigeradas del compartimiento congelador se deshuelan manualmente y las superficies refrigeradas del compartimiento de alimentos se deshuelan automáticamente. El agua de deshielo del compartimiento de alimentos se desecha automáticamente o es recibida en un contenedor para su posterior retiro manual.

Deshielo semiautomático: Sistema en el que el deshielo se inicia en forma manual (deteniendo el funcionamiento del motocompresor) y se termina automáticamente cuando la temperatura se ha elevado arriba de 0°C , con la reanudación automática del ciclo de refrigeración. Generalmente, el agua del deshielo se deposita en una charola que manualmente se retira una vez concluido el deshielo.

Evaporador: Parte del sistema de refrigeración en el cual se vaporiza el refrigerante para producir el efecto de refrigeración.

Factor de ajuste: Es la razón de la diferencia de la temperatura ambiente de prueba y la temperatura normalizada de referencia del compartimiento congelador entre la diferencia de la temperatura ambiente de prueba y el promedio de la temperatura de operación del compartimiento de alimentos.

Periodo de deshielo: Tiempo transcurrido entre el inicio de un deshielo y el momento en que se reinicia nuevamente la operación del motocompresor.

Refrigerador electrodoméstico: Aparato de volumen y equipos adecuados para uso doméstico enfriado por medio de un sistema refrigerante alimentado con energía eléctrica y en el cual se almacenan alimentos para su conservación.

Refrigerador/Congelador (R/C): Es aquel que tiene por lo menos un compartimiento de alimentos y por lo menos un compartimiento congelador independiente con temperaturas de -13.3°C en promedio o menores, generalmente, el usuario puede ajustar su temperatura a -17.8°C o menores.

Refrigerador convencional: Es aquel que cuenta con un compartimiento de alimentos y por lo menos un compartimiento congelador incorporado con temperaturas entre 0°C y -13.3°C . Se caracteriza por su(s) superficie(s) refrigerada(s) que envuelve(n) parcialmente el compartimiento congelador y enfría el compartimiento de alimentos por convección natural. Usualmente tiene una partición, bandeja de carnes, que cuando se quita o ajusta expone un área adicional de la superficie refrigerada hacia el compartimiento de alimentos.

Clase I: Es aquel que cuenta con un compartimiento congelador incorporado capaz de mantener temperaturas menores o iguales que -9.4°C .

Clase II: Es aquel que cuenta con un compartimiento congelador incorporado capaz de mantener temperaturas entre 0°C y -9.4°C.

Refrigerador, Refrigerador/Congelador y congeladores compactos: Significa cualquier refrigerador, Refrigerador/Congelador o congelador con un volumen total menor que 220 dm³ (7.75 pies³) (volumen calculado, como se indica en los Apéndices A y B de la Norma Oficial⁴¹) y 0.91 m (36 pulgadas) o menos de altura.

Refrigerador solo: Es aquel que cuenta con un compartimiento de alimentos y que puede incluir un compartimiento congelador incorporado con un volumen de 14.5 dm³ (0.5 pies³) o menos.

Temperatura del compartimiento: La temperatura que debe reportarse para cada compartimiento (alimentos o congelador), es el promedio de las temperaturas medidas durante la prueba en los puntos mostrados en las figuras 1 a la 4 y en el apéndice C de la Norma Oficial según corresponda.

Temperatura medida: La temperatura medida de un compartimiento es el promedio de las lecturas de todos los sensores de temperatura en ese compartimiento en un instante dado. La medición de la temperatura debe hacerse en intervalos que no excedan 4 minutos.

Tiempo de estabilización: Periodo de tiempo total durante el cual se logra la condición térmica estable o se evalúa.

Volumen Ajustado (VA): Es el volumen del compartimiento de alimentos más el volumen del compartimiento congelador afectado por el factor de ajuste que corresponda.

Volumen refrigerado total: Para refrigeradores electrodomésticos, es la suma del volumen del compartimiento de alimentos frescos y el volumen del compartimiento congelador. Para congeladores electrodomésticos, es el volumen del compartimiento congelador.

⁴¹ Op. Cit. NOM-015-ENER-2002.

5. Método de prueba para Refrigeradores/Congeladores con deshielo semiautomático. Procedimiento 3B.

Condiciones del cuarto de prueba.

Son idénticos a los del procedimiento 2B para refrigeradores convencionales con deshielo semiautomático (cf 5.6.1).

Preparación del aparato a probar.

Instalación

Seguir las mismas recomendaciones que en el procedimiento 2B (cf 5.6.2).

Condiciones de funcionamiento del refrigerador.

Son idénticas a las del procedimiento 2B (cf 5.6.2).

Colocación de los Sensores de Temperatura en el refrigerador.

- Los sensores de temperatura se colocan en las posiciones que se muestran en la figura A.1.
- En caso de interferencia del sensor localizado en el punto especificado en la figura, por un arreglo diferente en el compartimiento, el sensor se colocará en un lugar lo más cercano al especificado de tal manera que exista una distancia de 2.5 cm entre la masa del sensor y el anaquel o charola y se reportarán estos nuevos puntos.

Colocación de los sensores en el cuarto de prueba.

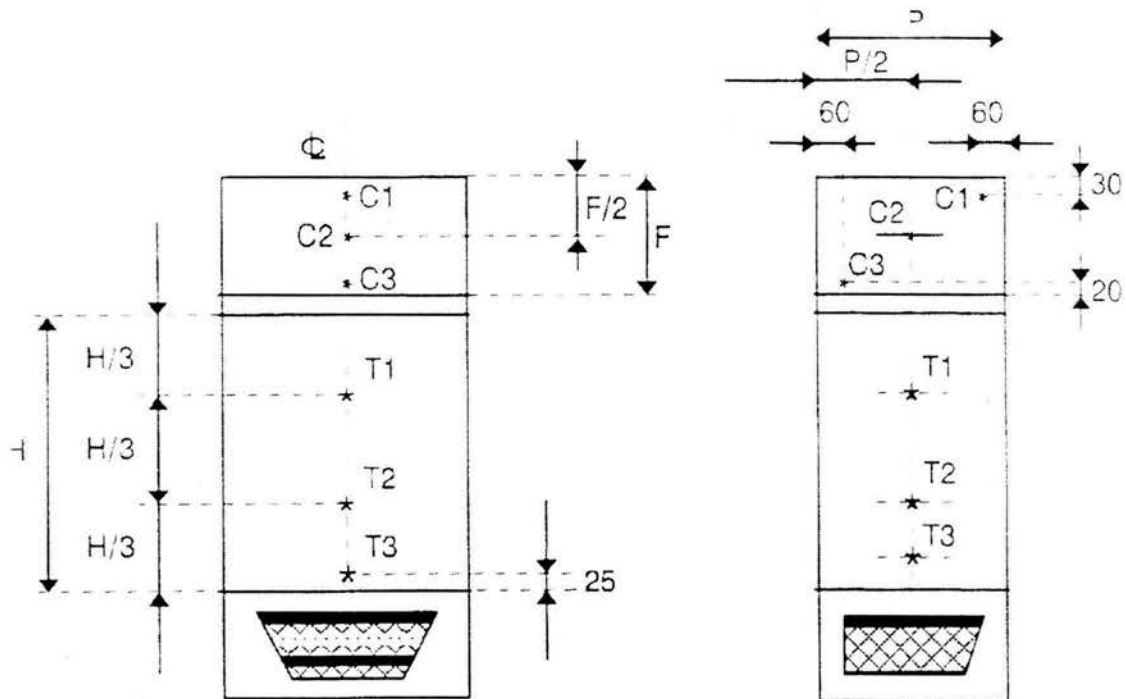
Son idénticos a los del procedimiento 2B (cf 5.6.2).

Secuencia y Tiempo de Prueba.

Primera prueba.

La secuencia es idéntica a la del procedimiento 2B (cf 5.6.3).

Figura A.1. Colocación de los sensores de temperatura en Refrigeradores/Congeladores.



Fuente: Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002.

Segunda prueba.

La secuencia es idéntica a la del procedimiento 2B (cf 5.6.3).

Cálculo del consumo de energía.

Se sigue el mismo procedimiento y se emplean las mismas ecuaciones que en el procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Cálculo del consumo de energía promedio de un ciclo.

Se sigue el mismo procedimiento y se emplean las mismas ecuaciones del procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Consumo de energía anual.

Se aplica el mismo procedimiento y ecuaciones del procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Cálculo del volumen ajustado.

Se sigue el mismo procedimiento y se aplican las mismas ecuaciones que el procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Los límites de consumo máximo de energía se determinan al aplicar la expresión (1) extraída de la Norma Oficial, en este caso para los Refrigeradores/Congeladores.

Límites de consumo de energía máximos.

Para Refrigeradores solos y convencionales, refrigeradores/ congeladores (R/C) con deshielo manual o semiautomático

$$E_{MAX} = 0.31 * VA + 248.4 \quad (1)$$

Donde:

E_{MAX} = Consumo de energía máxima por año, en kWh/año.

VA = Volumen ajustado, en dm^3 .

Criterios de Aceptación.

Para la certificación del refrigerador éste será probado si el modelo cumple con la norma y satisface la condición en la cual se determina el consumo de energía de la muestra de los refrigeradores seleccionados y el promedio de los resultados de la muestra debe ser menor o igual al límite de consumo de energía, calculado con la expresión (1).

Para informar el valor de consumo energético en la etiqueta se deben seguir y cumplir los requerimientos de muestreo y certificación de la Norma. El valor a informarse en la etiqueta es el promedio del consumo energético de la muestra con que se obtuvo la certificación, al más cercano kWh/año.

La ubicación y las características de la etiqueta son idénticas a las que se señalan en el procedimiento 2b (cf 5.6.5).

Métodos de prueba para Refrigeradores/Congeladores con surtidor de hielo y deshielo automático. Procedimiento 3C.

Condiciones del cuarto de prueba.

Las condiciones del cuarto de prueba son idénticas a las del procedimiento 2B (cf 5.6.1).

Preparación del aparato a probar.

Instalación

Es necesario seguir los mismos pasos que en el procedimiento 2B (cf 5.6.2).

Condiciones de funcionamiento del refrigerador.

Las condiciones de operación del refrigerador a prueba son las mismas que las señaladas en el procedimiento 2B (cf 5.6.2).

Colocación de los Sensores de Temperatura en el refrigerador.

- Los sensores de temperatura se colocan en las posiciones que se muestran en la figura B.2.
- En caso de interferencia del sensor localizado en el punto especificado en la figura, por un arreglo diferente en el compartimiento, el sensor se colocará en un lugar lo más cercano al especificado de tal manera que exista una distancia de 2.5 cm entre la masa del sensor y el anaquel o charola y se reportarán estos nuevos puntos.

Colocación de sensores en el cuarto de prueba.

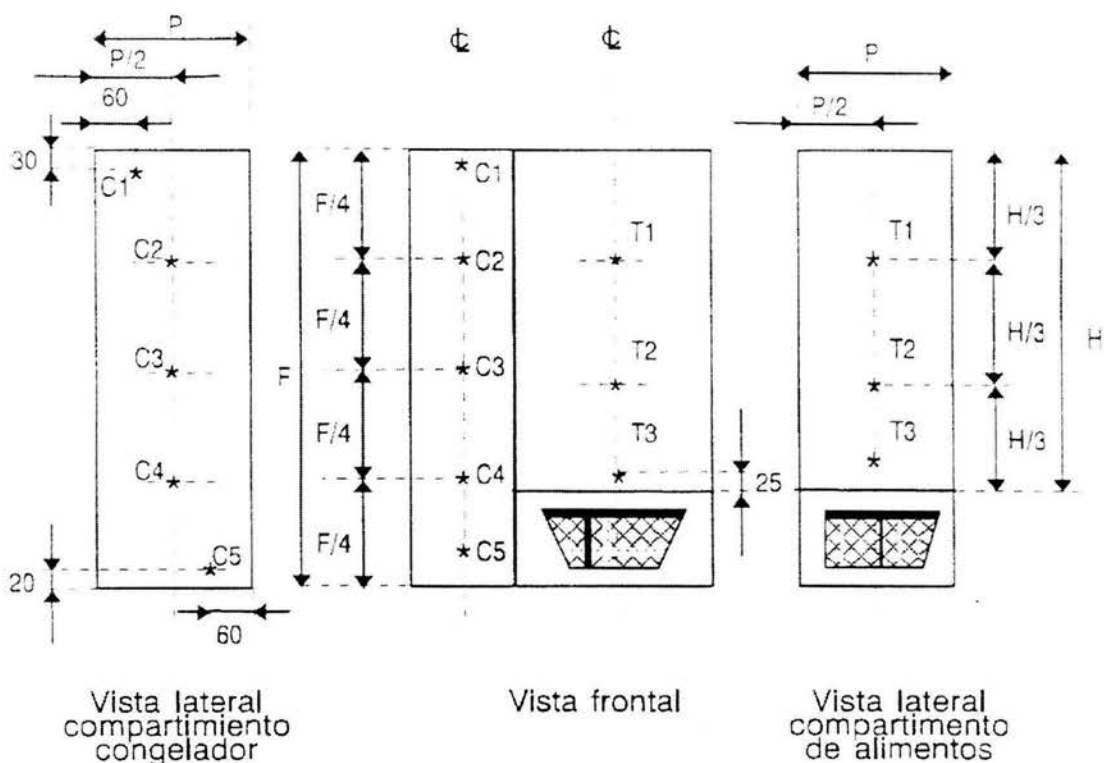
La colocación es idéntica a la señalada en el procedimiento 2B (cf 5.6.2).

Secuencia y Tiempo de Prueba.

Primera prueba.

La secuencia es la misma a la señalada en el procedimiento 2B (cf 5.6.3).

Figura B.2. Colocación de sensores de temperatura en Refrigeradores/Congeladores con el congelador montado lateralmente.



Fuente: Norma Oficial Mexicana. NOM-015-ENER-2002.

Segunda prueba.

La secuencia de pruebas es idéntica a la del procedimiento 2B (cf 5.6.3).

Calculo del consumo de energía.

Para el cálculo del consumo de energía existen varios conceptos de dicho consumo:

- El consumo de energía durante el tiempo de prueba, es el que indique el Wattmetro, desde el inicio hasta el final de la prueba.
- El consumo de energía de un ciclo es el consumo de energía durante el tiempo de prueba que se ajusta a un período de un ciclo, expresándose en kilowatts-hora por día (kWh/día).

Para los aparatos con deshielo automático de período largo, el consumo de energía de la prueba debe determinarse como se indica en la expresión (2):

$$EC = \frac{1440 * EP1 * k}{T1} + \left(EP2 - \frac{EP1 * T2}{T1} \right) * \frac{k * 12}{CT} \quad (2)$$

Donde:

EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día

1440 = Factor de conversión para ajustar el tiempo de prueba a un periodo de 24 horas.

EP1 = Consumo de energía durante el primer periodo de pruebas en kWh.

EP2 = Consumo de energía durante el segundo periodo de pruebas, en kWh.

T1 y T2 = Tiempo total transcurrido durante el primero y segundo periodos de prueba, respectivamente, en minutos.

K= Factor de corrección adimensional; 0,70 para congeladores horizontales, 0,85 para congeladores verticales, y 1,00 para refrigeradores electrodomésticos.

CT = Tiempo de funcionamiento del control de deshielo en horas, requerido para que funcione un ciclo completo (ajustar al más cercano décimo de hora por ciclo).

12 = Factor de conversión para ajustar a un 50% de tiempo de funcionamiento del motocompresor

Cálculo del consumo de energía promedio de un ciclo.

Se sigue el mismo procedimiento y se usan las mismas ecuaciones del procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Consumo de energía anual.

Se hace de la misma manera que la señalada en el procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Cálculo del factor de ajuste y del volumen ajustado

Se sigue el mismo procedimiento y se aplican las mismas ecuaciones que el procedimiento 2B (cf 5.6.4).

Los límites de consumo máximo de energía que establece la Norma, se determinan al aplicar la expresión (3) a los refrigeradores electrodomésticos de acuerdo a su tipo, sistema de deshielo y volumen ajustado.

Límites de consumo de energía máximos.

Para refrigeradores y congeladores con deshielo automático con congelador montado en la parte superior con surtidor de hielo y/o agua a través de la puerta.

$$E_{MAX} = 0.620VA + 391 \quad (3)$$

Donde:

E_{MAX} = Consumo de energía máxima por año, en kWh/año.

VA = Volumen ajustado, en dm^3 .

Criterios de Aceptación.

Para la certificación del refrigerador, éste será aprobado si el modelo cumple con la norma y satisface la condición en la cual se determina el consumo de energía de la muestra de los refrigeradores seleccionados y el promedio de los resultados de la muestra debe ser menor o igual al límite de consumo de energía, calculado con la expresión (3).

Para informar el valor de consumo energético en la etiqueta se deben seguir y cumplir los requerimientos de muestreo y certificación de la Norma. El valor a informarse en la etiqueta es el promedio del consumo energético de la muestra con que se obtuvo la certificación, al más cercano kWh/año.

La ubicación y las características de la etiqueta son idénticas a las que se señalan en el procedimiento 2B (cf 5.6.5).